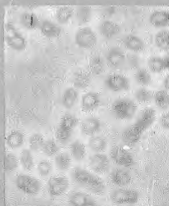
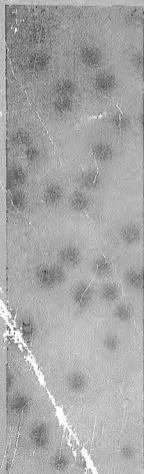


مقدمة في علم الميكروبيولوجيا

تأليف: ج. ف. ولكنسون

ترجمة: الدكتور نبيل ابراهيم حمازي

مراجعة: الدكتور عبد الوهاب محمد عبد الحافظ



١٩٨٩



مقدمة
في علم الميكروبيولوجيا

طبعة ١٤٠٩ هـ ١٩٨٩ المباح

إجازة المكيح للنسج

حق الطبع والنشر محفوظة للناس

لا يجوز استنساخ أى جزء من
هذا الكتاب أو اختزاله بأى
وسيلة إلا بإذن خطى من
الناس - ص . ب ١٠٧٢٠

١٩٨٣ (١٩٨٣) ٩

مقدمة في علم الميكروبيولوجيا

تأليف: ج. ف. ولكنسون

أستاذ الميكروبيولوجي
جامعة أدنبره

ترجمة: الدكتور نبيل إبراهيم جازي

أستاذ الميكروبيولوجي
كلية الزراعة - جامعة القاهرة

مراجعة: الدكتور عبد الوهاب محمد عبد الحافظ

أستاذ الميكروبيولوجي
وعميد كلية الزراعة - جامعة عين شمس



بسم الله الرحمن الرحيم

﴿سبحان الذى خلق الأزواج كلها مما
تنبت الأرض ومن أنفسهم ومما لا يعلمون﴾ .

[صدق الله العظيم]

المحتويات

الصفحة

٨	تقديم	
٩	مقدمة	● الفصل الأول
١١	الميكروسكوب	
١٥	طرق التعقيم	
٢٠	طرق الحصول على المزارع النقية	
٢٥	تركيب الكائنات الحية الدقيقة	● الفصل الثاني
٢٨	الخلية ذات النواة البدائية	
٤٤	الخلية ذات النواة الحقيقية	
٥٠	مقارنة بين الخلايا ذات النواة البدائية والحقيقية	
٥٠	تركيب الفيروسات	
٥٩	حصر للكائنات الحية الدقيقة	● الفصل الثالث
٦٢	الكائنات الحية الدقيقة ذات النواة البدائية	
٦٨	الكائنات الحية الدقيقة ذات النواة الحقيقية	
٧٩	نمو الكائنات الحية الدقيقة الخلوية	● الفصل الرابع
٨١	تسمية الكائنات الحية الدقيقة في مزارع الدفعات	
٨٤	تسمية الكائنات الحية الدقيقة في مزارع مستمرة	
٨٦	النمو المتزامن	
٨٧	احتياجات النمو الميكروبي	
٩٣	اعتبارات عامة	
٩٤	نمو الفيروسات	

٩٥.....	التحليل الغذائي وتغذية الكائنات الحية الدقيقة.....	• الفصل الخامس
٩٧.....	التركيب الكيميائي للكائنات الحية الدقيقة.....	
١٠٠.....	إنتاج الطاقة.....	
١٠٨.....	تدوير الوحدات البنائية الأساسية.....	
١١٠.....	تخليق المركبات الأحادية البلمرة والمرافقات الأنزيمية.....	
١١٢.....	البلمرة.....	
١١٢.....	تحويل مكونات الخلية للصورة النشطة فسيولوجيا.....	
١١٦.....	تغذية الكائنات الحية الدقيقة.....	
١١٧.....	تكاثر الفيروسات.....	• الفصل السادس
١١٩.....	تضاعف الفاجات.....	
١٢٤.....	حالة الليسوجيني.....	
١٢٥.....	الكائنات الحية الدقيقة والفيروسات.....	
١٢٧.....	وراثة الكائنات الحية الدقيقة.....	• الفصل السابع
١٣٠.....	أحداث الطفرات في الكائنات الحية الدقيقة.....	
١٣٣.....	الامتدادات الوراثية الجديدة في الكائنات الحية الدقيقة.....	
١٣٩.....	منشأ الحياة وتطور الكائنات الحية الدقيقة.....	
١٤٥.....	العلاقات بين الأحياء الدقيقة والكائنات الحية الأرضية.....	• الفصل الثامن
١٥٠.....	التكافل.....	
١٥١.....	التطفل.....	
١٥٩.....	المضادات الميكروبيولوجية والعلاج الكيميائي.....	
١٦٣.....	المقاومة البيولوجية.....	
١٦٥.....	بيئة الكائنات الحية الدقيقة وأهميتها للإنسان.....	• الفصل التاسع
١٦٥.....	دورات العناصر والمادة.....	
١٧٥.....	الإنتاج الصناعي للميكروبات ونواتجها.....	
١٨٣.....	مراجع إضافية.....	
١٨٥.....	قائمة المصطلحات العلمية.....	
١٩٩.....	الفهرس.....	

مقدمة المترجم للكتاب فى طبعته العربية

قدمت هذه الترجمة العربية لكتاب مقدمة فى علم الميكروبيولوجيا لتزود القارئ العربى على اختلاف اتجاهاته بأساسيات هذا العلم وتطوره ، وذلك بأسلوب يتميز بالبساطة والوضوح والإيجاز ، وأملأ فى تفهم الدور الجوهرى الذى تلعبه مختلف فروع علم الميكروبيولوجيا كأساس لتقدم وتطور مجموعة علوم البيولوجى الحديثة مثل البيولوجيا الجزيئية والمهندسة الوراثية ، وعلوم تكنولوجيا الغذاء والطاقة بالإضافة إلى التلوث البيئى بأخطاره وكيفية مجابهته .

ولا يسعنى إلا أن أشكر بمزيد الامتنان كل من تفضل بتقديم العون بصورة مختلفة خلال مراحل إعداد هذا الكتاب ، وأخص بالذكر الدعم المادى والأدنى الذى قدمه الزملاء والمسؤولون فى كل من هيئة الكسندرفون همبولدت Alexander von Humboldt Stiftung بألمانيا الغربية ، وكلية الزراعة والطب بجامعة الملك سعود — فرع القصيم .. ، وقسم الميكروبيولوجيا بكلية الزراعة جامعة القاهرة .

هذا الكتاب إهداء إلى زوجتى .. رفيقة العمر
ورمز الوفاء والعطاء

دكتور نبيل حجازى

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقديم

أعد هذا الكتاب خصيصا ليكون كمقدمة في علم الميكروبيولوجيا . وعلى الرغم من أنه لا يتطلب من القارئ معرفة مسبقة بالكائنات الحية الدقيقة إلا أنه من المفترض أن يكون ملما ببعض مبادئ علوم الحياة ، والكيمياء الحيوية خاصة بالإضافة إلى قدر بسيط من علم الوراثة .

يشتمل علم الميكروبيولوجيا عادة على دراسة الكائنات الحية الدقيقة ذات النواة الحقيقية (طحالب ، فطريات ، بروتوزوا) بالإضافة إلى البكتريا والفيروسات ، إلا أن المفاهيم والحقائق العامة المقدمة في هذا الكتاب قد استخدمت في عرضها وتوضيحها البكتريا والفيروسات التي تعتبر أكثر هذه الكائنات الحية ملائمة لهذا الغرض .

ويعد هذا الكتاب الجزء الأول في سلسلة من الكتب الدراسية المعنونة كالآتي :

- ١ - مقدمة في علم الميكروبيولوجيا
- ٢ - مقدمة في علم الفيروسات الحديث
- ٣ - فسيولوجيا الكائنات الحية الدقيقة
- ٤ - بيولوجيا الكائنات الحية الدقيقة
- ٥ - بيئة الميكروبات
- ٦ - الميكروبيولوجيا الزراعية
- ٧ - الميكروبيولوجيا الصناعية
- ٨ - الميكروبيولوجيا الطبية

وتقدم هذه الكتب في مجملها كتابا متناسقا عن الميكروبيولوجيا في نفس الوقت الذي بذلت فيه المحاولات لجعل كل كتاب من هذه الكتب وافية في حد ذاته بحيث يتوقف الاختيار فيما بينها على القارئ نفسه ، وعلى هذا قد يحتاج طالب تخصص الميكروبيولوجيا الزراعية الاطلاع على الجزئين الأول والسادس . ولتحقيق مثل هذا الغرض كان لزاما تكرار بعض المعلومات الضرورية وذلك في أضيق الحدود .

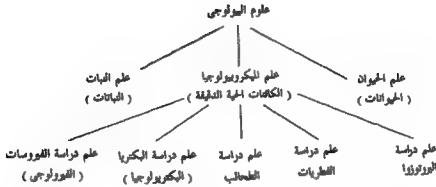
ويسعدني أن أقدم بالشكر لأعضاء قسم الميكروبيولوجي بجامعة ادنبرة لإسهامهم في هذه السلسلة من الكتب بالكثير من المقترحات . هذا بالإضافة إلى أنني مدين بالفضل لكل من السيد جوردون فين لتصميم معظم الرسوم التوضيحية وللسيدة دولوريس ستيوارت لتحملها مشقة النسخ على الآلة الكاتبة .

الفصل الأول

مقدمة :

يختص علم الميكروبيولوجيا بدراسة الكائنات الحية الدقيقة ، ومع أن ذلك واضح فإنه من الصعب إيجاد تعريف محدد للكائنات الحية الدقيقة ، ولكننا في الوقت الحالى يمكن أن نعتبر أنها تظم أبسط الكائنات الحية في التركيب وقد تم ضمها إلى بعضها من باب التبسيط . ويعتبر علم الميكروبيولوجيا آخر الفروع الرئيسية الثلاثة لعلوم البيولوجى التى ظهرت مؤخراً ، ولا زالت هناك محاولات لادراج كل الكائنات الحية ودراستها إما في علم النبات أو علم الحيوان ، ولهذا كانت البكتريا والطحالب والفطريات تعتبر كجزء من المملكة النباتية في حين أن البروتوزوا ضمت إلى المملكة الحيوانية ولكن لسوء الحظ أدى ذلك إلى تجاهل الكائنات الحية الدقيقة ، وإهمال دراستها ، حيث أنها تحتاج إلى طرق ووسائل خاصة لدراستها . ثم كان العامل المشجع على تطور علم الميكروبيولوجيا كعلم مستقل ما اكتشف من مقدرة الميكروبات على إحداث المرض ، لذا أنشأت الأقسام العلمية المتخصصة في دراسة الكائنات الحية الدقيقة خاصة البكتريا بمدارس الطب المختلفة . ولم تنشأ أقسام الميكروبيولوجى غير المرضية إلا مؤخراً حيث قد ساعد على ذلك استخدام الكائنات الحية الدقيقة كوسيلة لدراسة المبادئ البيولوجية الأساسية خاصة المتعلقة بالبيولوجيا الجزيئية .

وجرت العادة الآن على أن تشتمل الكائنات الحية الدقيقة على خمس مجاميع رئيسية يقسم على أساسها علم الميكروبيولوجيا إلى خمسة أقسام فرعية هى علوم دراسة الفيروسات والبكتريا والطحالب والفطريات والبروتوزوا بمعنى أن :



والآن ما هي المبررات لفصل الميكروبيولوجيا كأحد العلوم المستقلة ؟ تنحصر هذه المبررات في ثلاث سوف نناقشها فيما يلي : الأول هو أن معظم الكائنات الحية التي تندرج تحت مجموعة الكائنات الحية الدقيقة متناهية في الصغر (مجهرية) . وقد يكون البعض منها متعدد الخلايا ، ولكن بالرغم من ذلك ليس بها تخصص وظيفي وتميز في الأنسجة مثل الكائنات الأرقى ، والمبرر الثاني والذي قد يعتبر أكثرها أهمية هو أن الطرق المستخدمة في دراسة هذه الكائنات الحية الدقيقة تعتبر متماثلة بالنسبة لمجاميعها المختلفة ، في حين أنها تختلف اختلافا كثيرا عن الطرق الأخرى المستخدمة في دراسة كل من النباتات والحيوانات ، وثالثا أن الميكروبات عادة ما تكون مجموعة متداخلة في الطبيعة . لهذه الأسباب مجتمعه ، اعتبر علم الميكروبيولوجيا كعلم مستقل ، ولو أن الطريقة المثل لاشك هي تنظيم البحوث في مجال البيولوجي باعتباره مجالا واحدا مع تغير وتبدل الحدود الفاصلة بين هذه الفروع باختلاف الموضوع تحت الدراسة إلا أنه من الناحية العملية نجد أن التقسيم يعتبر ضروريا لأسباب عملية وأن هذا العلم بالضرورة يبرز في النهاية كعلم وكإنجاز مستقل .

قد يستقل أحد علوم المعرفة نتيجة لتطور وسائل دراسته ، ومع أن الحديث عن ذلك قد يبدو في حد ذاته قليل الأهمية ، إلا أن دراسة تاريخ علم الميكروبيولوجيا سوف يشير بوضوح إلى مدى أهمية طرق ووسائل الدراسة المناسبة . وهناك ثلاثة من طرق الدراسة التي كان ولا بد أن يتم تطويرها قبل أن يبرز علم الميكروبيولوجيا ويستقل لذاته .

١ - الفحص الميكروسكوبي :

نظرا لأن علم الميكروبيولوجيا يختص بدراسة الكائنات الحية المتناهية في الدقة اعتمد تقدمه في أول الأمر تماما على التعديلات والتحسينات التي أدخلت على الميكروسكوب .

٢ - طرق التعقيم :

قبل أن تستخدم اليبقات المختلفة لتنمية ميكروب ما ، فإنه لابد وأن يتم التخلص من جميع الكائنات الحية الموجودة بها ، بمعنى أنه كان لازماً أن تطور طرق التعقيم .

٣ - المزارع النقية :

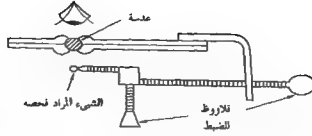
بمجرد الحصول على يبتات معملية معقمة فقد أصبح من الممكن عملياً استحداث طرق لفصل الكائنات الحية الدقيقة عن بعضها والعمل على حفظها على هيئة مزارع نقية . وبذلك أصبح من الممكن دراسة خصائص كل منها على حدة . والآن نتكلم عن كل تطور من هذه التطورات بشيء من التفصيل .

الميكروسكوب :

في فترة ما قبل القرن السابع عشر كانت هناك بعض التقارير التي تشير إلى وجود بعض الكائنات الحية التي لا يمكن رؤيتها ، ولكن قبل التوصل إلى أى من الوسائل الملائمة لتكبير هذه الكائنات ومشاهدتها كان من الصعب إيجاد أى دليل مقنع على ذلك . ويذهب الفضل الأول في اكتشاف هذه الكائنات الحية الدقيقة وتقديم البرهان على وجودها إلى التاجر الهولندي والعلامة الهاوى انتونى فان ليفنهوك الذى كان يعيش بمدينة دلفت . حيث استغل ليفنهوك وقت فراغه في مزاوله هوايته الخاصة بصناعة العدسات التي كان يستخدمها في بناء عدساته الكبيرة .

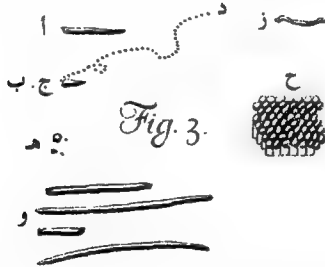
ويعتبر مثل هذا الميكروسكوب المكون من عدسة وحيدة أبسط تصميم ظهر في تلك الحقبة (انظر شكل ١ - ١) وحيث كان له القدرة على تكبير الأشياء بما يعادل 200 مرة . وكنيجة لقدرة هذا الرجل على الصبر والجلد في إعداد واستخدام هذا الميكروسكوب ، فقد تمكن من وصف بل ورسم العديد من هذه الكائنات الحية التي اشتملت بكل تأكيد على البكتيريا .

ولعل محاولة أى فرد الآن استخدام ميكروسكوب مماثل لما استخدمه ليفنهوك سوف يؤكد عبقريته ومقدرته غير المحدودة على الصبر . وقد قام ليفنهوك بتسجيل مشاهداته وأعماله على صورة خطابات أرسلها الى الجمعية الملكية في لندن والتي أسست في ذلك الحين . ومثال على ذلك المقطوعات التالية المأخوذة عن إحدى خطابات في عام 1684



(شكل ١ - ١) نموذج للميكروسكوب البسيط الذي استخدمه ليفنوك. يوضع الشيء المراد فحصه في نهاية سلك يصل بمسمار فلاروط حيث يشاهد من خلال عدسة صغيرة .

التي ضمنها وصفه لأحد هذه الكائنات الحية المميزة بالحرف هـ (شكل ١ - ٢) والتي غالبا ما تمثل أول وصف للبكتريا : « على الرغم من احتفاظي بأسنانى في حالة نظيفة ، إلا أنه عند فحصها بالعدسة المكبرة ، وجد فيما بينها مادة بيضاء قمت بفحصها بعد مزجها بقطرات المطر النقية التي لا تحتوى على أية حيوانات ، ولدهشتى الشديدة وجدت أن هذه المادة تحتوى على كائنات حيوانية صغيرة تتحرك حركة شديدة ، وأكبر هذه الأنواع يمثلها الشكل « أ » حيث يتميز بحركة قوية ورشيقة وتعمل على دفع نفسها بحركات مفاجئة في الماء كما تفعل أسماك جاك أو بايك والنوع الثاني يأخذ الشكل « ب » والذي يدور حول نفسه مثل النحلة والنوع الثالث لم أتحقق جيدا من هيكته ، حيث كان يأخذ في بعض الأحيان الشكل البيضاوى وفي أحيان أخرى شكل دائرى ، وهذه الأشكال كانت متناهية في الصغر لدرجة أن حجمها لا يزيد عن الشكل هـ . »



(شكل ١ - ٢) رسومات ليفنوك الشهيرة للكائنات الحية الدقيقة والمشورة في عام 1684 . حيث شاهد كائنات حية مختلفة الأشكال والتي يشابه بعضها البكتريا بكل تأكيد .

وأعقب مشاهدات ليفنوك هذه فترة تناهز القرنين دون أية إضافة حقيقية عن هذه الكائنات الحية الدقيقة نظرا لعدم تمكن الآخرين من تصميم ميكروسكوب مماثل يتميز بنفس درجة الوضوح وقوة التكبير ، بالإضافة إلى الافتقار إلى صبر وجلد ليفنوك ذاته .

وفي الحقيقة فإن أى تقدم فى هذا المجال كان مشروطا بتقدم صناعة الميكروسكوب المركب والذى يتكون من عدسة عينية ، وأخرى شبيثة يعمل على زيادة قوة تكبير الشيء المراد فحصه مع سهولة التناول والفحص الميكروسكوبى فى حد ذاته . وحقيقة أن رجالاً مثل روبرت هوك قد استخدموا ميكروسكوبا مركبا فى القرن السابع عشر ولكنهم لم يتمكنوا من إضافة الشيء الكثير عما حققه ليفنوك بميكروسكوبه الوحيد العدسة والسبب وراء ذلك يعزى لبعض العيوب التى ينشأ بعضها عن الزيغ اللونى والكروى والموجودة فى العديد من الميكروسكوبات التى قاموا بتصميمها ، ولكن مثل هذه العيوب قد تم تلافيها تدريجيا خلال القرن الثامن عشر بالتحسينات التى أدخلت فى المجالات التالية :

١ - تصحيح الزيغ فى العدسات العينية والشبيثة المركبة .

٢ - استخدام مكثف لتجميع الضوء وتركيزه على الشيء المراد فحصه .

٣ - استخدام غطاء زجاجى رقيق ، ليوضع فوق نقطة من السائل على الشريحة الزجاجية وبذلك يمكن فحص الأشياء بداخل هذه السوائل وباستخدام سطح مستو .

٤ - استخدام العدسات الزيتية المنغمسة حيث أمكن زيادة القوة الإيضاحية للميكروسكوب باستخدام مادة سائلة توضع فيما بين العدسة الشبيثة ذات معامل الانكسار العالى وبين الهواء وكان أكثر هذه المواد استعمالا نوعا معينا من الزيت .

وتلازم مع هذه التطورات التحسن الذى طرأ على طرق الصبغ مما ساعد على استخدام الخصائص المورفولوجية كأساس للتقسيم البسيط للميكروبات ، ولكن نظرا لأن الحد الأدنى لمقدرة الميكروسكوب على التفريق فيما بين الجسيمات ورؤيتها مستقلة وبوضوح كان حوالى $0.2 \mu m$ فإن ذلك لم يساعد على رؤية المزيد من التراكيب الداخلية للخلية البكتيرية التى يتراوح قطرها فى المتوسط بين $0.5-1.0 \mu m$. وكانت الطريقة الوحيدة لزيادة قوة تكبير الميكروسكوب إما بزيادة الفتحة العددية لعدسة الميكروسكوب والذى كان صعبا من الناحية العملية أو بتقليل طول موجة الضوء

المستخدم ، فتعطي الأشعة فوق بنفسجية - نظرا لقصر طول موجتها - قوة تفريق وإيضاح لجسيمات يصل قطرها إلى حوالى $0.1 \mu m$ ولكن يتطلب ذلك استخدام عدسات من مادة الكوارتز وآلات تصوير ، أو شاشة فلورية لرؤية الجسم الكبير . وعلى هذا فقد استخدم الميكروسكوب الفلورينى أساسا لرؤية التراكيب التى تتميز بخصائص معينة عند استخدام الأشعة فوق البنفسجية (مثل امتصاص الأشعة الفلورية بدرجة متخصصة) . وكما حدث من فترة ركود بالنسبة لدراسة الخلية الميكروية فى الفترة فيما بين منجزات ليفنوك وحتى تطور الميكروسكوب المركب ، فإنه لم يكن هناك تقدم ملحوظ فى الفترة ما بين النصف الآخر للقرن التاسع عشر ، وحتى اختراع الميكروسكوب الالكترونى فى الأربعينات من هذا القرن . فقد ساعد قصر موجة حزمة الالكترونات على الحصول على قوة تفريق وإيضاح جسيمات تصل فى أبعادها إلى أقل من 0.01 nm أو 0.001 \AA حيث أمكن ولأول مرة مشاهدة جزئيات الفيروسات قائمة بذاتها ، وبصفتها الطبيعية والمستقلة ؛ وقد أدت بعض المشاكل العملية المتعلقة بتصميم وتطوير العدسات المغناطيسية المستخدمة إلى عدم إمكانية الوصول إلى قوة تفريق وإيضاح لجسيمات أقل من ذلك . ومع ذلك فقد أصبح ممكنا رؤية الجزيئات الكبيرة المكونة لبنية الخلايا ذاتها . وفى الواقع لا يرى بالميكروسكوب الالكترونى إلا الأشياء الموجودة على هيئة غشاء رقيق ، وذلك بأمل الحصول على رؤية واضحة وتحديد تراكيبها الداخلية ، لذا فإنه كان لزاما تطور الطرق المستخدمة فى تحضير الخلايا ، وذلك بتثبيتها وتجهيفها ثم طمرها فى مادة بلاستيكية سائلة يعمل منها فيما بعد قطاعات رقيقة تصل فى سمكها إلى 100 nm (أى أن حوالى عشرة من هذه القطاعات تعادل سمك خلية بكتيرية واحدة) . ويمكن الحصول على درجة أعلى من التباين وإظهار الفروق بين التراكيب المختلفة باستخدام بعض الصبغات المعنمة للالكترونات أى التى لا تسمح بمرور الالكترونات خلالها مثل حمض الأوزميك ، أملاح اليورانيوم والبرمنجنات . ومن المشاكل الأخرى المتعلقة باستخدام الميكروسكوب الالكترونى إمكانية ظهور بعض التكوينات غير الحقيقية والمزيفة نتيجة لعمليات التثبيت والتجهيف وطر العينات . ولو أن ذلك يمكن التغلب عليه إلى حد ما باستخدام طريقة تجهيز خاصة للعينات والتى تشتمل على عمل نسخة مطابقة بالكربون لأسطح الخلية التى سبق تجميدها بالحرارة المنخفضة (شكل ٢ - ٨ ، صفحة 54) . ومع ذلك فإنه بالرغم من المشاكل التى واجهت استخدام الميكروسكوب الالكترونى خاصة فيما يتعلق بتفسير النتائج المتحصل عليها فإنه بلا شك قد فتح أمام علماء الخلية الميكروية آفاقا رحيبة وعالمًا جديداً .

طرق التعقيم :

يشتمل التعقيم على التخلص الكامل من كل الكائنات الحية سواء بقتلها أو إزالتها من الشيء المراد تعقيمه . ولحسن الحظ فإن التقدم في طرق التعقيم كان من النتائج الحسنة للخلاف الناشئ حول نظرية التوالد الذاتي للكائنات الحية الدقيقة والذي توج في النهاية بأعمال باستير . فعلى الرغم من أن نظرية التوالد الذاتي بمفهومها التقليدي مثل توالد الفئران ونشوتها من الحرق البالية والبرقات من اللحم قد فندت فعلا مع بداية القرن السابع عشر إلا أنه قد كان هناك اعتقاداً سائداً بأن الكائنات الحية الدقيقة التي اكتشفها ليفنوك تخلق ذاتيا أى من العدم ، وذلك حتى منتصف القرن التاسع عشر . فقد كان معروفاً أن تخمر عصائر الفاكهة يصاحبه إنتاج كائنات حية دقيقة مثل الخميرة بالإضافة إلى الكحول وثاني أكسيد الكربون ، وأن تعفن المستخلصات النباتية والحيوانية وحموضة الألبان يلزمه نمو كائنات حية دقيقة مثل البكتريا وتراكم أحماض عضوية مثل اللاكتيك ومواد كيميائية ذات رائحة كريهة مثل الأمينات . والسؤال الآن هو ماهو السبب وما هو المتسبب ؟ هل أدى التخمر إلى التوالد الذاتي للخمائر أم أن الخمائر هي التي قامت بعملية التخمر ذاتها ؟ لعل الاجابة تبدو بديهية في الوقت الحاضر ولكنها لم تكن كذلك فيما مضى ، ومن المدهش حقا قراءة التجارب الأولية التي أجريت لتفنيد نظرية التوالد الذاتي هذه كي نرى كيفية تقويم الآراء والمعتقدات الخاطئة . ولعل ذلك يجعل الإنسان أقل غطرسة وثقة في التقدم الذي وصل إليه العلم الآن حيث أن البعض من معتقداتنا العلمية الحالية قد تكون مبنية على أساس خاطيء .

ولقد اعتمدت التجارب التي صممت لتفنيد نظرية التوالد الذاتي على واحد أو أكثر من المبادئ التالية :

(أ) التعقيم الكامل للبيئات المستخدمة في تنمية الميكروبات لضمان عدم تواجد أية كائنات حية عند بداية التجربة .

(ب) تصميم الوعاء المستخدم في التجربة للدرجة يصعب معها دخول أية كائنات حية دقيقة من الخارج . ولعل ذلك كان ضروريا بعد التيقن من وجود الكائنات الحية الدقيقة منتشرة في الجو المحيط . فعلى سبيل المثال فإنه حتى الهواء النقي قد يحتوي كل قدم مكعب منه على خلية ميكروبية واحدة ، في حين أن هذه الأعداد تزداد بدرجة كبيرة إلى المئات بل الآلاف في هواء الغرفة المزدحمة .

وبالتمسك بكل هذه الأسس فإذا ما أدت الظروف إلى تكاثر الميكروبات فلا بد أن ينظر إلى أى نحو أن يكون منشؤه التوالد الذاتي . ولا شك أن حجب الزاوية في حدوث هذا الالتباس يرجع إلى كفاءة طرق التعقيم وقد أدى هذا إلى جدل وصل إلى طيعة نشأة الحياة ذاتها وقد وجد الكثير من العلماء الأفاذا أنفسهم منخرطين فيه . والنتيجة النهائية لمثل هذا الصراع ، هو تطور طرق التعقيم . ولنتناول الآن المبدئين الأساسيين للتعقيم :

١ - إتمام عملية التعقيم :

تعتمد طرق التعقيم المعروفة على المعاملة بالحرارة والتي عرف أنها ضارة بكل صور الحياة - ولكن تبين بعد ذلك اختلاف الكائنات الحية الدقيقة اختلافا كبيرا من حيث مقاومتها للحرارة (شكل ١ - ٤) ولابد وأن يكون التعقيم موجها لقتل أكثر صور الحياة مقاومة للحرارة .

وعموما تحتاج البكتريا لدرجات حرارة أعلى من الكائنات الحية الدقيقة الأخرى كما أن بعض هذه الكائنات الدقيقة قد تكون تركيبات مقاومة للحرارة تسمى بالجراثيم (صفحة 42) . فالغليان عند الضغوط الجوية العادية يعد غير كاف لقتل هذه الجراثيم ولذا صممت المعقمات بالبخار تحت ضغط للتعقيم تحت ضغوط متزايدة والتي يصاحبها ارتفاع في درجات الحرارة عن 100° .

٢ - المحافظة على التعقيم :

استخدمت التجارب التي أجريت في الماضي لتأكيد نظرية التوالد الذاتي سدادات من الكاوتشوك كى تمنع وصول الكائنات الحية الدقيقة والملوثات المختلفة إلى المحاليل المختبرة من الخارج . ولكن لسوء الحظ كانت هذه الطريقة غير فعالة عمليا حيث تبين أن للميكروبات القدرة على الدخول من الفراغات المحيطة بسدادات الكاوتشوك خاصة بعد تعقيم الأنوعية الزجاجية وعند تبريدها . وعلى الرغم من إمكانية لحم فوهات الدوايق الزجاجية باستخدام الحرارة إلا أن الاعتراض على ذلك هو عدم السماح كلية بدخول الأكسجين الذى يعد ضروريا لصور الحياة المختلفة . لذا كان من الضروري استخدام أحد المواد المرشحة التي تمنع دخول الكائنات الحية الدقيقة ولكن في نفس الوقت تسمح بمرور الهواء . وقد أدى ذلك إلى التطور الخاص باستخدام السدادات القطنية التي عم استخدامها بعد ذلك بواسطة الباحثين في مجال الميكروبيولوجيا . ومع ذلك فمن أبسط

الطرق وأكثرها ذكاء هي الطريقة التي استخدمت للحيلولة دون دخول الكائنات الحية الدقيقة إلى الدورق الزجاجي الذي استخدمه باستير والذي صمم ليأخذ عنقه شكل رقبة طائر البجع (شكل ١ - ٣) حيث اعتمد على أن الكائنات الحية الدقيقة في الهواء والتي تدخل عن طريق فوهة الأنبوبة المتوية والطويلة تمر في بطن شديد وحيث ترسب على جدر هذه الأنبوبة تحت فعل الجاذبية الأرضية . ولقد أظهر باستير أن مثل هذه الدوارق الزجاجية على الرغم من تركها مفتوحة فإنها تبقى معقمة ولفترات غير محددة . وبهذه الطريقة البسيطة تمكن هذا العالم من تنفيذ الرأى الذى ينادى بالتوالد الذاتي .



(شكل ١ - ٣) دورق زجاجي تأخذ فوهته شكل رقبة طائر البجع والذي استخدمه باستير لتفنيد نظرية التوالد الذاتي

وعلى الرغم من عبقرية وقوة شخصية باستير التي دفعت بعلم الميكروبيولوجيا وتطوره في مراحل الأولى حتى أرمى دعائمه كعلم مستقل إلا أنه في أواخر حياته قد أدى إلى الحد من التطور المستمر في هذا العلم نظرا للاحساس العام بأن « باستير لا يخطئ وأنه دائما على صواب » . فعلى سبيل المثال نجد أنه كان يعتقد بشدة في أن عمليات التمثيل الغذائي التي تقوم بها الميكروبات مثل عملية التخمر من أهم خصائص الكائنات الحية وأنها لا يمكن أن تتم في غياب الخلايا الحية ، ولقد ظل معتقدا هذه الفكرة لفترة طويلة ولا شك أنه في العلوم كما في غيرها من نواحي الحياة نجد أن إعاقه التقدم هو الثمن الذى قد ندفعه غالبا نتيجة للاعتقاد الدائم في عبقرية نفر من العلماء .

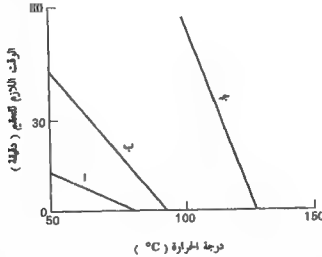
وقد تم فعلاً مع نهاية القرن التاسع عشر تطور طرق التعقيم والتي ما زالت تستخدم في وقتنا الحاضر ، وفيما يلى عرض ملخص لهذه الطرق .

الحرارة :

عند رسم العلاقة اللوغاريتمية الناشئة بين النسبة المئوية للكائنات الحية المقاومة للحرارة من ناحية ، والوقت من الناحية الأخرى نجد أن الخط الناشئ يختلف في طبيعة انحداره من كائن إلى آخر ، ولكن عند اختيار الطريقة العامة للتعقيم فلا بد وأن يستخدم الوقت ودرجة الحرارة التي تضمن قتل جميع الكائنات الحية بما في ذلك الجراثيم المقاومة للحرارة أيضا . ويوضح ذلك الشكل (١ - ٤) حيث يلاحظ أنه عند استخدام مدة زمنية تعادل ٣٠ دقيقة للتعقيم فإن ميكروب « أ » يتطلب استعمال درجة حرارة 50° في حين أن الميكروب « ب » يحتاج إلى 60-70° بينما نجد أن معلق الجراثيم يلزم له درجة حرارة أعلى تعادل 120° . وعموما من الطرق العامة المستخدمة في هذا المجال ما يأتي :

(أ) الحرارة الرطبة في جهاز الأوتوكلاف . وعادة ما تستخدم مدة 30 دقيقة مع ضغط جوى يعادل 1.05 كجم/ سم² (15 رطل/ البوصة المربعة) لتعطي درجة حرارة تعادل 121° وتعتمد هذه الطريقة أكثر كفاءة في حالة إمكان استخدامها عمليا .

(ب) التعقيم المتقطع بالبخار . وهى الطريقة التي اخترعها العالم تيندال والتي تسمى أحيانا باسمه . حيث يتم التعقيم باستخدام درجة حرارة البخار (100°) . وعلى ثلاث



(شكل ١ - ٤) منحنيات الموت الناشئة عن استعمال المعاملة الحرارية في تعقيم معلقين من الخلايا الحيوية للكائنات الحية الدقيقة (أ ، ب) بالاحاطة إلى معلق للجراثيم (ج) .

فترات يفصل بين كل فترة والثانية يوم كامل . حيث أن الجراثيم المتبقية بعد التعقيم لأول مرة يتم إنباتها بعد انخفاض درجة الحرارة وبذلك نجد أن الخلايا الخضرية المتكونة يتم قتلها عند إجراء التعقيم للمرة الثانية أو الثالثة في الأيام التالية . وتستخدم هذه الطريقة للمواد والبيئات المغذية التي قد تتأثر باستخدام درجات حرارة أعلى من 100° عند التعقيم بالأوتوكلاف .

(ج) الحرارة الجافة . يعتبر الماء من العوامل المشجعة على قتل الكائنات الحية الدقيقة ، وفي حالة غياب الماء - كما في حالة استخدام الفرن الجاف - يلزم عادة استخدام درجات حرارة تصل إلى 160° ولمدة ساعتين .

(د) البسترة . ولا تعتبر البسترة من إحدى طرق التعقيم نظرا لأنها تستخدم وقتا لا يعد كافيا لقتل جميع الكائنات الحية ، مثل استخدام 60° لمدة 30 دقيقة . وتؤدي هذه المعاملة إلى قتل أغلب الميكروبات المسببة للأمراض والموجودة في المنتجات الغذائية الطبيعية مثل اللبن ومنتجاته وذلك دون التأثير على خصائص اللبن المختلفة من طعم ولزوجة وخلافه .

الترشيح :

يمر الغاز أو السائل المراد تعقيمه خلال مرشح خاص تعمل ثقوبه على احتجاز خلايا الكائنات الحية الدقيقة . ولقد سبق الحديث عن استخدام السدادات القطنية لتعقيم الغازات ؛ في حين أنه بالنسبة للسوائل توجد مجموعة من المرشحات التي يمكن استخدامها والمصنوعة من مواد مختلفة مثل الأسبستوس (مرشح زائتس) أو نترات السليولوز (المرشحات الغشائية ، مثل أقراص ترشيح ميلليبور) . ويعتبر الترشيح الميكروبيولوجي من أفضل الطرق المستخدمة في تعقيم السوائل التي تحتوي على مكونات حساسة للحرارة .

الإشعاع :

تعتبر بعض الموجات الاشعاعية قاتلة للميكروبات . فتعد الأشعة فوق البنفسجية ذات كفاءة خاصة في تعقيم الهواء ، ومع ذلك فإن لها قدرة محدودة في اختراق الأجسام الصلبة والوصول إلى مكوناتها الداخلية مما يستدعى في مثل هذه الأحوال استخدام أشعة مأينة من مصدر مشع مثل الكوبالت المشع .

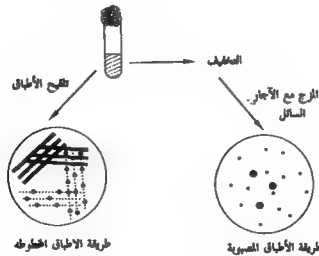
المواد الكيميائية :

تعمل العديد من المواد الكيميائية على قتل الميكروبات ولكن ذلك يستلزم استخدام مدداً أطول للتعرض حتى يتم التعقيم الكامل ، هذا بالإضافة إلى أنه من الصعب إزالة هذه المواد الكيميائية والتخلص منها . وتعد محاليل فوق الكلوريد ؛ ومشتقات الفينول من المحاليل المطهرة الشائعة الاستعمال في المعامل ، كما يستخدم غاز أكسيد الايثيلين في بعض الأغراض الخاصة . ولكن يلزم التأكيد هنا على أن المواد الكيميائية المستخدمة كمطهرات نادراً ماتؤدي إلى التعقيم الكامل تحت أغلب الظروف التي تستخدم من أجلها .

طرق الحصول على المزارع النقية :

بمجرد أن أمكن تعقيم البيئات الميكروبية أصبح ممكناً من الناحية النظرية عزل الميكروبات على هيئة مزارع نقية . ولكن على الرغم مما أظهره باستير من أن أنواع مختلفة من التخميرات والتعفن يصاحبها نمو ميكروبات مختلفة من الناحية المورفولوجية (مثل الخمائر في التخمير الكحولي ، أنواع مختلفة من البكتريا في التخمير اللاكتيكي والحليكي والبيوتريكي) إلا أن بعض العلماء اعتقد اعتقاداً راسخاً بأن الكائنات الحية الدقيقة - وخاصة كل البكتريا - ما هي إلا أشكال مختلفة لميكروب واحد ، وهذا ما أطلق عليه بنظرية تعدد الأشكال المورفولوجية . في حين أن الآخرين من العلماء أكدوا تميز كل نوع من الميكروبات بشكل واحد ومحدد له ، بمعنى أن هناك عدداً كبيراً من الكائنات الحية الدقيقة المختلفة ممكن الحصول على كل منها على حالة مزارع نقية . وإمكان ذلك كان لازماً استخدام طرق تعتمد على إدخال خلية ميكروبية واحدة في أحد الأواني الزجاجية التي تحتوي على بيئة مغذية ومعقمة . ولسوء الحظ فإن صغر الحجم المتناهي للكائنات الحية الدقيقة جعل من الصعب فصل الخلايا الميكروبية ميكانيكياً ، ولكن في الحقيقة فإن ظهور طريقة النقل الدقيق بواسطة الميكروسكوب (جهاز الميكرومانيبوليتر) جعل هذا ممكناً ولكن يعاب على هذا الجهاز صعوبة استخدامه وتعقيده بالنسبة للاستخدامات العامة . لهذا اكتشف بدلا من ذلك طرق أخرى تعتمد على تخفيف العينة المستخدمة بدرجة تسمح بالفصل بين الخلايا الميكروبية الموجودة بها مما يساعد في النهاية على نمو كل خلية على حدة مكونة مزرعة نقية . وأولى هذه الطرق تعتمد على إجراء تخفيف للمزرعة الميكروبية حتى نصل في النهاية إلى حجم من السائل يحتوي على خلية واحدة حيث يمكن التأكد من ذلك بعد معرفة

العدد الأول للخلايا الموجودة في المزرعة المختبرية . ولكن تعتبر مثل هذه الطريقة مجعدة وغير دقيقة ويمكن استخدامها فقط لفصل الميكروبات السائلة في وسط ما . لذا فإنها نادرا ما تستخدم حاليا في حين بدأ الباحثين في استخدام طرق التخفيف على البيئات الصلبة ، حيث يوضع جزء من العينة على حافة بيئة صلبة معقمة في طبق بترى ثم بعد ذلك تستخدم إبره التلقيح لعمل عدة خطوط من هذا الجزء من العينة — أو اللقاح كما يسمى عادة — على سطح البيئة ، حيث أن كل تخطيط يمثل عملية تخفيف ويتم في النهاية الحصول على بعض الخلايا المفردة المجاورة لبعض هذه الخطوط والتي تنمو بصورة منفردة مكونة مستعمرة بكتيرية بعد فترة التحضين ، تستخدم بعد ذلك كمصدر للحصول على المزرعة النقية . وتعتبر طريقة التخطيط هذه بهدف الحصول على المزارع النقية من الاكتشافات الرائدة للعالم الألماني روبرت كوخ الذي تأكد من أن أكثر الأسطح كفاءة لهذا الغرض هو سطح البيئات الصلبة ، ولقد استخدم لهذا الغرض في البداية الجيلتين كأداة مجمدة ولكن كان يعيبها أنها تصبح سائلة عند درجات حرارة أعلى من 28° ؛ بالإضافة إلى أنها كأداة بروتينية تتمكن بعض الميكروبات من تحليلها . ثم اكتشفت بعد ذلك مادة مجمدة كربوهيدراتية تعد مثالية لهذا الغرض ، وهي مادة الآجار آجار (والتي عادة ماتسمى بالآجار) الموجودة في بعض الحشائش البحرية ، وتنصهر البيئات المحتوية على هذه المادة على 100° ولا تتجمد مرة ثانية إلا عند انخفاض درجة حرارتها إلى ما دون 40° هذا



(شكل ١ - ٥) الطرق المستخدمة للحصول على المزارع النقية للكائنات الحية الدقيقة . تحتوي المزرعة الأصلية المستخدمة كمثال هنا على نوعين من الكائنات الحية أحدهما يكون مستعمرات كبيرة والآخر يتميز بأن مستعمراته صغيرة الحجم .

بالإضافة إلى أن مادة الآجار لهاجها إلا عدد قليل من الكائنات الحية الدقيقة ، ولهذا الخصائص الفريدة استخدمت مادة الآجار لإجراء طريقة أخرى بديلة للأطباق المخطوطة تسمى بطريقة الأطباق المصبوبة ، حيث تخلط عينة مخففة من الكائنات الحية الدقيقة تحت الدراسة مع كمية من بيئة الآجار المغذى المنصهرة والمخطوطة على درجة حرارة تعلو بقليل درجة تجمد الآجار ثم يصب الخليط في وعاء مناسب (طبق بترى) ويحضر بعد ذلك حيث تنتج كل خلية مستقلة مستعمرة بكتيرية في بيئة الآجار المغذى .

وباستخدام مثل هذه الطرق تمكن العالم الألماني روبرت كوخ وغيره من الباحثين من أن يعزو الإصابة ببعض الأمراض إلى تواجد ميكروبات معينة . ثم استخدمت هذه الطرق بعد ذلك في دراسة الميكروبات المختلفة والموجودة في الأوساط البيئية الطبيعية . ومع ذلك فإن استخدام بيئة ملائمة لمعظم الكائنات الحية الدقيقة لايسمح عادة إلا بعزل الميكروبات السائلة . فلو أخذنا على سبيل المثال الكائنات الحية الدقيقة المستوطنة لغم الإنسان ، نجد أن العينة المثلثة تحتوى على المجاميع الميكروبية التالية (عدد الميكروبات الموجودة في كل سم³ من اللعاب) : مخائر 100 ، بكتريا حامض اللاكتيك 2×10^4 ، البكتريا الكروية العنقودية 1×10^4 ، عصويات الدفترى 3×10^6 ، البكتريا الكروية في سلاسل 5×10^7 ، البكتريا الكروية في تجمعات غير منتظمة واللاهوائية 1×10^8 وعند رغبتنا في عزل بعض الكائنات الحية الدقيقة النادرة الوجود على صورة مزارع نقية فلا بد وأن نختار بعض الظروف البيئية التى تشجع من نمو هذه الكائنات ، وذلك على حساب غيرها من الكائنات غير المرغوب فيها . ومن الممكن تحقيق ذلك إما بإجراء عملية لإكثار مبدئية أو باختيار البيئات الغذائية أو الظروف البيئية الملائمة أثناء عمليتي التخفيف والتنمية . وفيما يلى عرض لبعض الطرق المستخدمة في انتخاب وإكثار مجموعات معينة من الكائنات الحية الدقيقة :

(أ) التنمية على درجات حرارة مرتفعة (مثل 50°) تفوق درجة الحرارة العظمى لنمو معظم الكائنات الحية الدقيقة مما يؤدي إلى انتخاب الأنواع المحبة للحرارة . وبالمثل فإنه بيسر العينة (صفحة 19) قبل التنمية فإن الجراثيم هى التى تبقى وتنمو بعد ذلك لإمكان عزلها .

(ب) التنمية في غياب أحد مصادر التروجين بالبيئة المغذية ولكن في وجود الهواء بما .

يسمح بنمو الكائنات التي لها القدرة على استخدام التروجين الجوى والتي يطلق عليها بالكائنات الحية الدقيقة المثبتة للنروجين الجوى (صفحة 113) .

(ج) التنمية في غياب الأكسجين والذي يؤدي إلى تشجيع الكائنات الحية غير الهوائية (صفحة 91) .

(د) تستطيع الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في أمعاء الإنسان النمو في وجود تركيزات من أملاح الصفراء التي تعمل عادة على تثبيط معظم الميكروبات الأخرى . وعلى هذا فإن استخدام بيئة مغذية تحتوي على العناصر الغذائية الملائمة ومضاف إليها أملاح الصفراء تشجع من نمو مجموعة البكتريا المعوية ، وتستغل هذه الخاصية كأساس للطرق المستخدمة في اختبار مدى تلوث مصادر المياه المختلفة بالبراز ومياه المجارى (صفحة 147) .

فيما سبق تعرضنا لبعض الأمثلة توضح مدى إمكانية استخدام الظروف البيئية للعمل على الزيادة العددية للكائنات الحية الدقيقة المرغوب عزلها والموجودة مختلطة مع غيرها من الميكروبات ثم الحصول عليها على هيئة مزرعة نقية . وباستخدام مثل هذه الطرق ومثيلاتها تمكن علماء الميكروبيولوجيا من التعرف على القاعدة العريضة من الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الطبيعة . وعندئذ فقط بزغ علم الميكروبيولوجيا كعلم مستقل في حينه .

الفصل الثانى

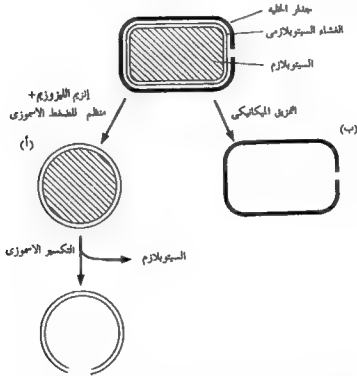
تركيب الكائنات الحية الدقيقة

ساعد اكتشاف الميكروسكوب الضوئى على تحديد الشكل العام للخلايا بالإضافة إلى طريقة تجمع الخلايا بالنسبة للكائنات عديدة الخلايا . بالإضافة إلى ذلك فقد أمكن مشاهدة بعض التركيبات الداخلية لهذه الخلايا باستخدام ميكروسكوب تباين الأطوار أو باستعمال طرق الصبغ المختلفة . ومعظم الصبغات المستخدمة - مثل الصبغات القاعدية - تعتبر غير متخصصة لحد كبير وذات فائدة محدودة في التعرف على الطبيعة الكيميائية ووظيفة مكونات الخلية المختلفة ، بينما البعض الآخر يكون أكثر تخصصا فصبغة السودان الأسود تصبغ الحبيبات الدهنية وكذلك محلول اليود يميز جزئيات النشا .

أما في حالة الكائنات الحية الدقيقة المتناهية في الصغر مثل البكتريا (التى يصل قطرها إلى $0.5 \mu m$ ، تقريبا) فإنها تكاد ترى بالميكروسكوب الذى لا تتجاوز قوة إضاءته جسيمات في حدود $0.2 \mu m$ لذا فإن التعرف على تركيبها ومكوناتها الداخلية والدقيقة اعتمد اعتمادا كبيرا على إدخال الميكروسكوب الإلكتروني الذى كان له دور كبير في هذا المجال ولكن مع الوضع في الاعتبار الأشكال الزائفة التى قد تنشأ عن الطرق المستخدمة في تحضير العينات ، ولو أنه من الممكن تلافى هذه الأشكال باختيار المجالات الميكروسكوبية المناسبة أثناء الفحص . هذا بالإضافة إلى أنه فيما يختص بأبحاث علوم الخلية فمن الممكن أن يتخير الباحث أثناء الفحص الميكروسكوبى المجال الملائم لما يبحث عنه من مكونات الخلية . وهنا يلفت الانتباه الشعر الذى ألفه هيلر بيلوك ، والذى يدل على رؤية ثابتة وخيال واسع لما يمكن أن يكون عليه خلية الميكروب وتركيبها . وعلى الرغم من أن نظرة بيلوك البعيدة لم تتنبأ بالتركيب الداخلى وتكوينات الخلية الميكروبية إلا أن المجموعة الأخيرة من أبيات شعره قد تعبر عن وجهة نظر علماء الخلية

والتي تعتمد على مبدأ استقلالية ووحدة الخلية مع الحد بقدر الإمكان من الإمعان في التصور والخيال .

ومن المشاكل الرئيسية في دراسات الميكروسكوب الالكتروني تقديم التفسير اللازم لكل من الطبيعة الكيميائية والوظيفية لكل التركيبات والمكونات التي تشاهد تحت الميكروسكوب ، ولسوء الحظ لا تتوفر إلا القليل جدا من الصبغات شديدة التخصص ، ولو أن هناك أهمية كبيرة لاستخدام الأجسام المضادة المعلمة بواسطة بعض المواد غير المنفذة للالكترونات ؛ مثل الفيرويتين والتي لم ينتشر استعمالها انتشارا واسعا حتى الآن نظراً لبعض المصاعب التقنية في هذا المجال . لذا فإن الطرق الرئيسية المستخدمة الآن لدراسة مكونات الخلية المتعددة وربطها بوظائفها المختلفة تعتمد على تكسير الخلية الميكروية وفصل مكوناتها الأساسية ؛ والتي يجري تحليلها كيميائياً فيما بعد . ولكن هذه الطريقة تعترضها مشكلة فصل مكونات الخلية الحساسة دون التغير في طبيعتها خاصة بالنسبة للخلايا البكتيرية الصغيرة الحجم والمحاطة بجدر خلوية صلبة .



(شكل ٢ - ١) الطريقتان المستخدمتان في تكسير الخلايا البكتيرية

- (أ) تشمل على المعاملة بأنزيم الليزوزيم في وجود منظم للضغط الاسموزي ثم التحلل المنظم .
(ب) تفصل على التجزئ الميكانيكي بواسطة كريات زجاجية .

ومع هذا فقد حدث تقدم مضطرد في الطرق المستخدمة في تكسير الخلية البكتيرية للدرجة أنه من الممكن الآن فصل معظم مكونات الخلية على حالة نقية مع الاحتفاظ بوظائفها الحيوية بصورة طبيعية . وفيما يلي مثالان لتكسير الخلية البكتيرية وفصل مكوناتها (شكل ٢ - ١) :

١ - الرج الشديد لمعلق من الخلايا البكتيرية في وجود كريات زجاجية مما يؤدي إلى نزع جدر الخلية وانفصال محتويات السيتوبلازم وتحررها ، وعندئذ يمكن جمع جدار الخلايا بواسطة الطرد المركزي ، ثم معاملة بمذيبات عضوية وأنزيمات معينة للتخلص مما يشوبها من مواد الخلية الأخرى . وتحفظ جدر الخلايا الناتجة عن هذه الطريقة بشكلها الأصلي كما أنها تعتبر خاملة من ناحية التمثيل الغذائي . ويمكن إذابة جدر الخلايا البكتيرية إذابة كاملة وذلك بالنسبة لقليل من الأنواع البكتيرية باستخدام أنزيم الليزوزيم الذي يعتبر من إحدى نواتج إفرازات وسوائل الخلايا الحيوانية .

٢ - إن تعريض خلايا بعض أنواع البكتيريا الحساسة لانزيم الليزوزيم يؤدي إلى التحلل التام للخلايا ولكن إذا ما أجريت هذه العملية في محلول ذو تركيز اسموزي متعادل مثل محلول السكروز المتساوي الأسموزيه فإنه بعد ذوبان جدار الخلية يأخذ البروتوبلازم الناتج شكلا مستديرا يطلق عليه اصطلاح البروتوبلاست والذي يتضح نتيجة لفحص قطاعات رقيقة منه بواسطة الميكروسكوب الالكتروني أنه محاط بتركيب متخصص يسمى الغشاء السيتوبلازمي . وتشير هذه التجربة البسيطة إلى ما يلي :

(أ) إن جدار الخلية يكسبها شكلها المميز طالما أن البروتوبلاست دائما ما يأخذ شكلا كرويا بغض النظر عن شكل الخلية الأصلي .

(ب) يعزى صلابة الخلية إلى الجدار الخلوي حيث أن البروتوبلاست المنزوع منه جدار الخلية يكون عرضة للتحلل الأسموزي على عكس الخلية ذاتها .

(ج) يعتبر الغشاء السيتوبلازمي وليس جدار الخلية هو المسؤول عن النفاذية الاختيارية للخلية حيث أن هذه الخاصية لا تتأثر بالنسبة للبروتوبلاست بعد نزع جدار الخلية .

وعند تعرض البروتوبلاست للتحلل الأسموزى المتدرج والمنضبط بتقليل التركيز الأسموزى للمحلول الخارجى فإن الفشاء السيتوبلازمى يتمزق محرراً السيتوبلازم . ثم يستخدم بعد ذلك الطرد المركزى التفريقى لفصل الأغشية ومكونات السيتوبلازم المختلفة والتي من المتوقع عدم تأثرها نتيجة لاستخدام طريقة التحلل المعتدلة هذه .

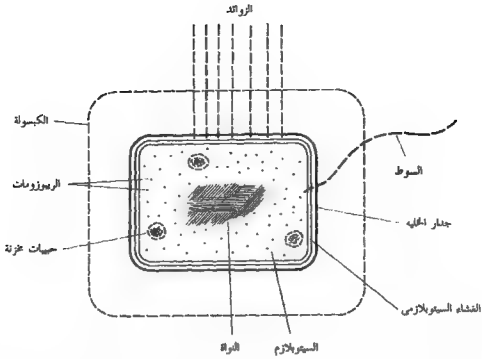
ولقد أمكن حديثاً وباستخدام الطرق السابقة الذكر دراسة تركيب مكونات الخلية ووظيفة كل منها على حدة وذلك بالنسبة لبعض الخلايا النموذجية . ولقد اتضح نتيجة لهذه الدراسات وجود نوعين أساسيين من الخلايا أحدهما ذو نواه غير مكتملة وبدائية والأخرى ذو نواه حقيقية ومميزة . وتقتصر خلايا النوع الأول على مجموعة من الكائنات الحية الدقيقة (بكتريا - طحالب خضراء مزرقّة) فى حين أن النوع الثانى تمثله خلايا بعض مجاميع الكائنات الحية الدقيقة (فطر - بروتوزوا - طحالب فيما عدا الطحالب الخضراء المزرقّة) وكل من الحيوان والنبات . بالإضافة إلى ذلك توجد الفيروسات التى تتميز بتركيب غير خلوى يعد أكثر بساطة سوف نتكلم عنه بشيء من التفصيل فى نهاية هذا الفصل . وبأدىء ذى بدء سنتناول الخلايا ذات النواة البدائية .

الخلايا بدائية النواة :

يوضح شكل (٢ - ٢) مكونات هذا النوع من الخلايا مع ملاحظة أن المكونات المرسومة بخط كامل توجد فى أغلب الخلايا فى حين أن التراكيب الأخرى التى تختلف فى وجودها تبعاً لنوع الكائن الحى وظروف نميته قد رسمت بخط متقطع . وتبين الصورة (٢ - ١ ، الموجودة بصفحة ٣٤) تركيب هذا النوع من الخلايا عند فحص قطاعات رقيقة منها بواسطة الميكروسكوب الإلكتروني .

الحجم :

على الرغم من أن حجم الخلايا بدائية النواة يتراوح بين حد أدنى تمثله ميكروبات الميكوبلازما (كرويات بقطر $0.12 \mu m$ تقريباً) وحد أقصى تمثله خلايا الطحالب الخضراء المزرقّة مثل التابعة لجنس *Oscillatoria* (عصويات ذات أبعاد تصل إلى $20 \times 5 \mu m$) فإن معظم الخلايا يكون قطرها فى حدود الميكرومتر الواحد .



شكل ٦ - ٢ .

رسم تخطيطي يثل عليه بدائية النواة نموذجية . التراكيب التي تختلف في وجودها من عليه لأخرى موضحة على شكل خط مقطع .

الغشاء السيتوبلازمي

يعتبر الغشاء السيتوبلازمي هو الطبقة المحيطة ببروتوبلاست الخلايا بدائية النواة ، والذي يظهر تحت الميكروسكوب الالكتروني على صورة تركيب ذو ثلاث طبقات يتكون من طبقتان لا تسمحان بمرور الالكترونات بينهما طبقة أخرى منفذة لها (صورة ٢ - ١ الموجودة بصفحة ٣٤) . ويعتبر هذا التركيب مميزا لمعظم الأغشية ذات النفاذية الاختيارية الموجودة بخلايا الكائنات الحية وهذا ما يطلق عليه بأصطلاح «وحدة الغشاء» . وقد تم تحديد التركيب الكيميائي للغشاء السيتوبلازمي وذلك بإجراء التحليلات اللازمة بعد فصله عن بروتوبلاست الخلية باستخدام التحلل الاسموزي المتدرج (انظر صفحة 27 ، 28) . وتمثل المكونات الأساسية لهذا الغشاء في الليبيدات والبروتينات الموجودة بكميات متماثلة تقريبا وذلك على صورة تركيب ثلاثي حيث تغطي طبقتان من البروتين طبقة وسطية من الليبيدات ، أو غالبا ما تكون على هيئة طبقة ليبيدات تتحد بصورة غير كاملة مع البروتينات وذلك من السطح الداخلي أو

الخارجي أو تغلغل داخل الغشاء نفسه . ولو أن البعض يعتقد أن مثل هذا التركيب ماهو إلا تكوينات غير حقيقية تنشأ عن عمليات تثبيت العينات قبل فحصها ميكروسكوبيا . وتشابه بروتينات الغشاء السيتوبلازمي مع البروتينات المكونة لسيتوبلازم الخلية من حيث مكوناتها من الأحماض الأمينية ، في حين أن الليبيدات (عادة فوسفوليبيدات) تعتبر مميزة للغشاء السيتوبلازمي وحيث تختلف من ميكروب لآخر . وهذا النوع من الخلايا يختلف عن الخلايا حقيقية النواة في عدم احتواء أغشيتها السيتوبلازمية عادة على الاستيروولات .

ومن الوظائف التي يمكن أن يقوم بها الغشاء السيتوبلازمي ما يلي :

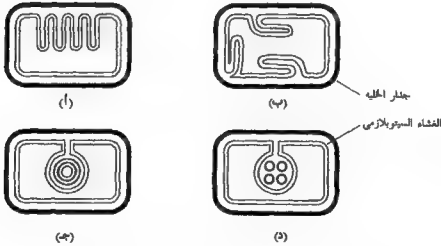
(أ) طبقة شبه منفذة . تعتبر وظيفة النفاذية الاختيارية والمتعلقة بالسماح بدخول وخروج بعض الجزيئات دون غيرها من وإلى الخلية في غاية الأهمية ، والتي في حالة توقفها يمكن لمواد التمثيل الغذائي الهامة أن تتسرب خارج الخلية مما يؤدي في النهاية إلى موتها . ويستلزم انتقال الجزيئات عبر الغشاء السيتوبلازمي في أى من الاتجاهين خارج أو داخل الخلية اتحادها بطريقة متخصصة مع جزيئات بروتينية يطلق عليها مجموعة أنزيمات البريميز والتي تدخل في تركيب الغشاء السيتوبلازمي ذاته . ونظرا للتخصص الشديد في عملية الاتحاد هذه فإنه يلزم تواجد أعداد كبيرة من انزيمات البريميز في كل خلية على حده . وقد يلزم لعملية النفاذية الاختيارية توفر الطاقة والتي تنتج من عمليات التمثيل الغذائي وقد يحدث بالتالي زيادة تركيز الجزيئات داخل السيتوبلازم مقارنة بتركيزها في الوسط المحيط بالخلية .

(ب) إنتاج الطاقة . يعتبر الغشاء السيتوبلازمي مركز حدوث تفاعلات الطاقة عن طريق الفسفرة والتي تؤدي في النهاية إلى تحول جزيئات **ADP** إلى **ATP** ، وعلى هذا يحتوى الغشاء السيتوبلازمي على الانزيمات وغيرها من الجزيئات الناقلة واللازمة لمثل هذه التفاعلات . وسوف نعرض لذلك بالتفصيل في الفصل الخامس .

(جـ) تكوين المركبات عديدة البلمرة خارج الخلية . تعمل الانزيمات الموجودة في الغشاء السيتوبلازمي على تخفيض الخطوات النهائية واللازمة لتخليق المركبات عديدة البلمرة والتي تدخل في تركيب جدار الخلية والكبسولة والسوائل الخارجية . إلا أن البروتينات الخارجية والمكونة للأسواط والزوائد من المفترض أنها تتكون بواسطة ريبوزومات الخلية والتي تغلغل بطريقة خاصة إلى الحيز الخارجي للخلية .

(د) موقع التصاق كروموزوم الخلية . يفترض من المناقشة السابقة أن الغشاء السيتوبلازمي يعد بسيط في تركيبه ويطن جدار الخلية من الداخل . إلا أن بعض الالتفافات قد تحدث في طبقات الغشاء مؤدية إلى ظهور تكوينات معقدة تأخذ إحدى الأشكال الثلاثة التالية :

(أ) الالتفافات المتكونة على صورة ألواح متوازية (شكل ٢ - ٣ أ) أو (ب) التفافات على شكل أنابيب (شكل ٢ - ٣ ب) . وكلا النوعين من الالتفافات يعمل بكفاءة على زيادة مساحة سطح الخلية ، (ج) الميزوزومات (شكل ٢ - ٢ ، ٢ - ٣ ج ، د) . والتركيب الأخير أكثر تخصصا على الرغم من الاحتمال الكبير لاستمرارية هذا التركيب أيضا واتصاله بالغشاء السيتوبلازمي . ويعد الدور الذي تلعبه هذه التراكيب غامض حتى الآن إلا أنها قد تلعب دورا ما في عملية التصاق كروموزوم الخلية ثم انفصاله عند التضاعف (انظر أسفل) أو في إنتاج الجدر العرضية اللازمة لانقسام الخلية (انظر شكل ٢ - ٣) . ولا تعتبر التكوينات السابقة عامة إلا أنها توجد بصورة منتشرة في قطاع عريض من الخلايا البكتيرية .



شكل ٢ - ٣ أنواع الالتفافات التي تحدث في الغشاء السيتوبلازمي للخلايا بكتيرية

السيوبلازم :

يحتوى الغشاء السيوبلازمى بداخله على السيوبلازم الذى يحتوى على الأنزيمات ومراققات الأنزيمات ومواد التمثيل الغذائى ونواتجه . ويشتمل النور الأساسى للسيوبلازم على تهيئة الوسط الملازم لحدوث عمليات التمثيل الغذائى وعلى انتقال الجزيئات من مكان لآخر بداخل الخلية .

النواة :

من الممكن استخدام بعض الصبغات المتخصصة لمشاهدة وتحديد المنطقة النووية فى وسط الخلية ولكن شريطة العمل على إزالة الحمض النووى من النوع RNA الموجود فى سيوبلازم الخلية والذى يعمل عادة على حجب رؤية هذه المنطقة النووية . ومع ذلك فقد لا يشاهد إلا القليل من التراكيب الداخلية فى نواة هذا النوع من الخلايا بالإضافة إلى - على الرغم من حدة الجندال فى هذا الخصوص - عدم حدوث عملية الانقسام الميتوزى . وتظهر هذه النواة تحت الميكروسكوب الالىكترونى على هيئة منطقة غير محددة ليقية دون أن يحدها غشاء نووى . ونظرا لاختلاف هذه النواة فى شكلها عن النواة الحقيقية والمميزة فى الكائنات الحية الأخرى فقد أطلق عليها العديد من الأسماء (الجسم النووى - النيوكلويد ...) ، ولكن فى ضوء ما حدد من تركيبها الأساسى ومكونها الهام (حمض DNA) فإنه يفضل تسميتها ببساطة بالنواة البدائية .

ولكن لسوء الحظ فإن عدم وجود غشاء نووى لايساعد على سهولة فصل وتنقية الحمض النووى لهذه الخلايا حيث نلاحظ أنه بعد تكسير الخلية بالطرق السابق شرحها يحدث تحلل للنواة مما يؤدى إلى تحرر كروموزوم الخلية على صورة خيط دائرى يتكون من صغيرتين من الحمض النووى DNA . والذى يصل طوله إلى (1-2 mm (1000-2000 µm) . ونظرا لأن طول هذا الكروموزوم يفوق طول الخلية ذاتها آلاف المرات فإننا نلاحظ التفاف هذا الخيط بانتظام فى داخل النواة ليعطى فى النهاية حزم من الخيوط المتعددة التى يسهل مشاهدتها عند فحص قطاعات رقيقة من هذه الخلايا تحت الميكروسكوب الالىكترونى ، وعلى الرغم من مشاهدة كروموزوم واحد فى عدد قليل فقط من البكتيريا إلا أن الأدلة الوراثية على وجود مجموعة ارتباط أحادية فى العديد من الميكروبات الأخرى تشير إلى وجود كروموزوم واحد فى جميع الخلايا بدائية النواة .

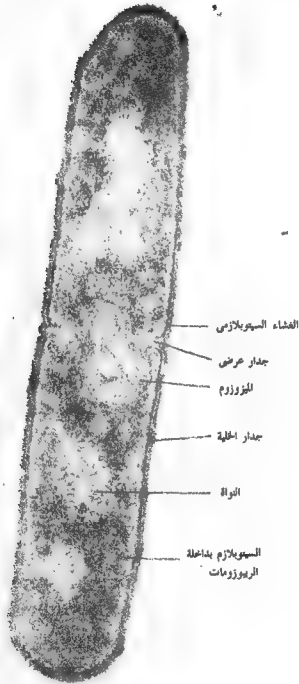
ولعل وجود كروموزوم واحد جعل من غير الضروري حدوث عملية الانقسام الميتوزى المعقدة أو وجود غشاء نووى ، ولكن بدلا من ذلك توجد نقطة التصاق فيما بين منطقة معينة من الكروموزوم والغشاء السيتوبلازمى (أو الميزوزوم) . وعلى هذا تكون الخطوة الأولى لانقسام النواة هى تضاعف موقع الالتصاق هذا والذي يعقبها مباشرة توالى انقسام خيط الحمض النووى DNA ، وعندئذ تبتعد كل من النواتين المتكونتين عن الأخرى بانفصال مواقع الالتصاق هذه .

ولا يبدو أن الشحنات الموجودة على الحمض النووى DNA فى الخلايا بدائية النواة تعادل بواسطة بروتينات قاعدية كما هو الحال بالنسبة للكائنات حقيقية النواة . وعلى هذا نجد أن خيوط النواة تكون منفصلة إلى حد ما عن بعضها دون حدوث حالة من التكثيف مما قد يسمح لكل من نواتج التمثيل الغذائى الوسطية والأنزيمات الضرورية وكذلك الحمض النووى RNA بالمرور عبرها .

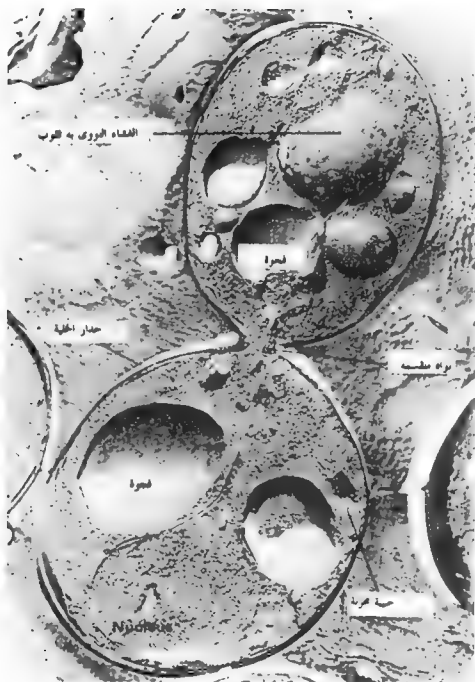
الريبوزومات :

تظهر الريبوزومات فى القطاعات الرقيقة للخلايا وعند فحصها تحت الميكروسكوب الالكترونى على هيئة جزيئات معتمدة نسبيا تصل فى قطرها إلى حوالى 20 nm. ويمكن عزل هذه الجزيئات من الخلايا بعد تكسيرها وذلك بطريقة الطرد المركزى التفريقى باستخدام محاليل سكروز متدرجة التركيز كوسط سائل لعملية الفصل . وتتكون الريبوزومات من وحدتين تركيبيتين ذات ثابت ترسيب قدره 30 S ، 50 S على التوالى والتي باتحادهما سويا تعطى جزيئا كاملا ذو ثابت ترسيب يعادل 70 S ويعتبر مميزا لريبوزومات الخلايا بدائية النواة . وتوجد الريبوزومات على حالة حرة فى سيتوبلازم الخلية ولا تكون مرتبطة بغشاء كما هو فى حالة خلايا الكائنات الحية حقيقية النواة ، وذلك برغم أن دورها الوظيفى فيما يتعلق بتخليق البروتينات يماثل البوليوزومات المتصلة بحيط الحمض النووى الحامل للرسالة .

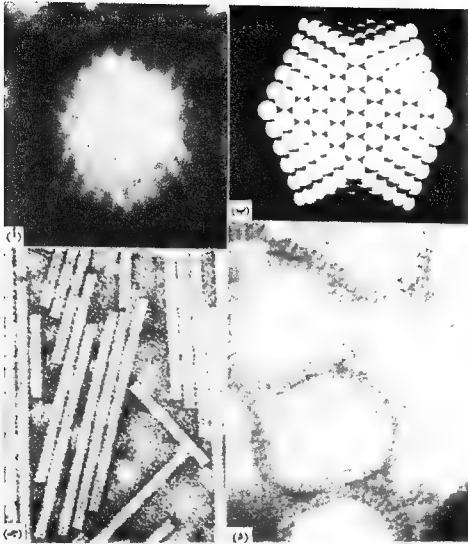
وعموما تتميز خلايا الكائنات الحية الدقيقة البدائية النواة بمعدلاتها المرتفعة فى التكاثر عنه فى حالة الخلايا حقيقية النواة ، وينعكس ذلك بوضوح على عدد وحجم الريبوزومات بالنسبة لوحدة الكتلة من الخلية ، وقد تصل كمية الريبوزومات فى الخلايا سريعة النمو إلى ما يعادل 40% من وزن الخلية الجاف .



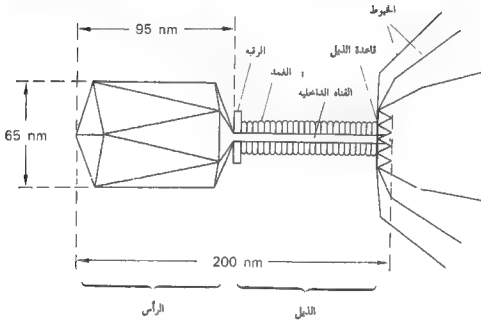
(صورة ٢ - ١) إحدى القطاعات الرقيقة في خلية من خلايا *Bacillus licheniformis* أثناء الانقسام . حيث يبدو دور الميزوزوم في عملية تكوين الجذر العرضية (بإذن من ب - هيتون) . مكبرة 42 ألف مرة .



(صورة ٢ - ٢) خلايا الخميرة *Saccharomyces cerevisiae* كما تظهر تحت الميكروسكوب الإلكتروني عند تصوير البعثة بطريقة التجميد والطبخ الكليشيه . يلاحظ وجود النواة في حالة انقسام مع وجود اتصال فيما بين النواتج المتصلين (بالان من ص . مورز) مكبرة 15 ألف مرة .



(صورة ٢ - ٣) الأنماط المختلفة لتجميع جزيئات الفيروسات . (أ) ، (ب) تجمع على صورة جسم ذو عشرين وجهاً مثلًا (أ) الأدينيروفيروسات التي تصيب الأسماك (مكبرة 560 ألف مرة) ، (ب) نموذج توضيحي لنفس النوع من الفيروسات يوضح تجمع الجزيئات على هيئة جسم ذو عشرين وجهاً ، (ج) التجميع على صورة لولب حلزوني كما في حالة فيروسات تبرقش الدخان (مكبرة 144 ألف مرة) حيث يلاحظ تكسر بعض جزيئات الفيروس المصنوعة أثناء تحضير العينات ، (د) جزيئات فيروس مفلطة بدلاف خارجي كما في حالة فيروس الأنفلونزا (مكبرة 320 ألف مرة) بإذن من و . و . هورن .



(صورة ٢ - ٤) (اعل) فاج بكتيرية القولون من النوع T2 (ميكرو 424 ألف مرة) حيث يلاحظ انضغاط جزيء الفيروس مؤديا إلى تقلص الذيل (انظر شكل ٦ - ٣) مأخوذة عن 281 Mol. Biol 1, (1959). S. Breener (أسفل رسم توضيحي جزيء فيروس بكتيريا القولون من النوع T2 مع عدم حدوث انضغاط شظفة الذيل .

الحبيبات المخزنة :

قد يوجد في سيتوبلازم الخلية ذات النواة البدائية حبيبات مخزنة (والتي قد يطلق عليها أحيانا بالحبيبات المحتوية) ، ويوضح الجدول (٢ - ١) أهم أنواع هذه الحبيبات المخزنة مع ملاحظة أن عدد وحجم هذه الحبيبات يختلف باختلاف ظروف تنمية الخلية ، ولو أنها في حالة توفر مصادر الطاقة بكميات تفوق الحاجة قد تكون ما يقرب من 50% من وزن الخلية الجاف .

جدول ٢ - ١ الحبيبات المخزنة في خلايا الكائنات الحية بدائية النواة

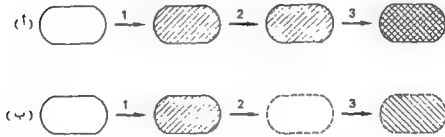
نوع الحبيبات	المكون الأساسي	الفاثيا للالكروونات	الصبغات الخاصة وصبغة الصبغ	وظيفتها المكنة
حبيبة السكريات	جليكوجين	شفافة	عطول اليود - لون بني	مصدر للكربون والطاقة
الليبيدات	نشا	شفافة	عطول اليود - أزرق غامق	مصدر الكربون والطاقة
	عديد بيتا هيدروكسي	شفاف	السودان الأسود - أسود	مصدر للكربون والطاقة
	بيوتيرات			
الفوليرين	دهون متعادلة	شفاف	السودان الأسود - أسود	مصدر للكربون والطاقة
الكبريت	عديد الفوسفات الكبريت	مهما	صبغة البروث - بنفسجي	مصدر للفوسفور والطاقة
		شفاف	—	مصدر للكبريت والطاقة

وباستثناء مركب عديد بيتا هيدروكسي البيوتيرات تتواجد هذه المواد المخزنة أيضا في خلايا الكائنات الحية الدقيقة الحقيقية النواة .

جدار الخلية :

وهو عبارة عن الطبقة المعتمة التي تحيط بالغشاء السيتوبلازمي . وقبل أن نعرض لتركيبه ووظيفته فإنه من المفيد أن نستطرد في الحديث أولا عن واحدة من أهم طرق الصبغ التفرقي المستخدمة في مجال الميكروبيولوجيا التي تعمل على تقسيم البكتريا إلى مجموعتين أساسيتين ألا وهى صبغة جرام - فلقد كان هناك نقاش كبير حول الأساس البيوكيميائي لطريقة الصبغ هذه والذي قد يعزى غالبا إلى الاختلاف في مسامية جدار الخلية بالنسبة للمعقد المتكون من صبغة الجنسيان البنفسجي واليود بداخل الخلية (شكل ٢ - ٤) ، وهذا الاختلاف ربما يرتبط بتركيب الجدار ذاته حيث يلاحظ في

القطاعات الرقيقة للخلايا أن جدار البكتريا الموجبة لجرام يتركب أساسا من طبقة واحدة سمكية غير متبلورة وغير منتظمة (صورة ٢ - ١ ، الموجوده بصفحة ٣٤) في حين أن البكتريا السالبة لجرام يظهر جدارها على هيئة طبقات متعددة وأكثر تعقيدا . والمركب الكيميائي المكون لجدار الخلايا الموجبة لجرام أساسا هو الببتيدات السكرية (انظر أسفله) . ومثل هذه الطبقة السمكية تحول دون إزالة المعقد المتكون من صبغة الجنسيان البنفسجي واليود باستخدام أى من المذيبات العضوية مثل الكحول أو الأسيتون .. في حين أنه في البكتريا السالبة لجرام نجد أن طبقة السكريات الببتيدية لاتتعدى 10% من مكونات جدار الخلية ويتمثل الباقي في البروتينات ، مركبات عديدة السكريات ، وفي الأهم اللببيدات ، وحيث تؤدي المعاملة بالكحول إلى زيادة مسامية الجدار نتيجة لإزالة اللببيدات مع كون طبقة السكريات الببتيدية رقيقة ، كل هذا ينجم عنه الفروق الواضحة في نتيجة للصبغ .



شكل ٢ - ١ : ميكانيكية الصبغ للجرام (١) إضافة صبغة الجنسيان البنفسجي ومحلول اليود . يتكون معقد من الجنسيان البنفسجي واليود داخل الخلايا . (٢) غسل بالكحول أو الأسيتون لئلا ينسحب الجرام السالبة لجرام يزول معقد الجنسيان البنفسجي واليود من الخلايا نظرا لانساع مسام جدار الخلية (٣) غسل الفوركسين القاعدي كصبغة معادة . فلاحظ أن الخلايا الموجبة لجرام (أ) تصبح للمرة الثانية فأخذ في النهاية لونا بنفسجيا في حين أن الخلايا السالبة لجرام لآأخذ إلا اللون الأحمر لصبغة الفوركسين .

والآن دعنا نعرض لمكونين أساسيين من مكونات الجدار الخلوى :

١ - السكريات الببتيدية : (طبقة الميوكوببتيدات ، الميورين .. الخ) ويعتبر هذا المركب من أهم المركبات عديدة البلمرة في الخلايا ذات النواة البدائية والذي يتكون بطريقة فريدة بواسطة الارتباط المستعرض لسلاسل من عديدات السكر مع سلاسل من عديدات الببتيد القصيرة ليتكون في النهاية جزيء كبير يلعب دورا هاما في تحديد شكل

وحجم الخلية ، ومنحها درجة عالية من الصلابة ومن أكثر الصفات الكيميائية أهمية لهذا المركب هو وجود مركبات مميزة وحيدة البلمرة تدخل في تركيب كل من عديدات السكر (خلايا حمض الميورايميك) وعديدات البيتيد (أحماض أمينية يمينية الاستقطاب وأحيانا حمض الليمليك ثنائي الأمين) . وبالإضافة إلى كون هذا التركيب الكيميائي مقاوم لفعل معظم الانزيمات المحللة فإنه يعتبر لحسن الحظ موطن فعل العديد من المواد الكيميائية المضادة ثمو البكتريا ذات الأهمية الطبية الفائقة .

٢ - عديدات السكر : توجد العديد من هذه المركبات في الخلايا ذات النواة البدائية حيث تختلف فيما بينها من حيث السكريات الأحادية المكونة لها ، بالإضافة إلى ان بعضها لا توجد الا في مجموعة صغيرة من البكتريا والطريقة التي يتم بها ارتباط هذه السكريات الأحادية . وتوجد مثل هذه المركبات في الطبقة الخارجية للجدار الخلوي ولهذا تعتبر مسئولة عن كثير من الخصائص المميزة لسطح الخلية .

وظيفة جدار الخلية : لعل الدور الأساسي للجدار هو إحاطة الخلية بطبقة ذات صلابة ميكانيكية . وعلى الرغم من ذلك فهناك بعض الخلايا ذات النوى البدائية بدون جدار للخلية ، ولكنها لا تستطيع العيش إلا في أوساط بيئية مأمونة . ويجدر الإشارة هنا إلى أن جدار الخلية لا يعتبر طبقة ذات نفاذية اختيارية بل أنه يعمل كحزب بحيث يحجز الجزئيات الكبيرة الحجم ويمنع مرورها . وفي الواقع هناك بعض الانزيمات التي توجد محصورة فيما بين الغشاء السيتوبلازمي وجدار الخلية لتكون ما يسمى بالبيريلازم .

الكبسولة :

تحاط بعض خلايا الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة بطبقة هلامية تسمى بالكبسولة تغلف الجدار الخلوي للخلية . ويمكن رؤية هذه الطبقة تحت الميكروسكوب العادي باستخدام الصبغ السالب الذي يعتمد على استخدام صبغات مثل الحبر الشينى حيث لا يمكن لجزيئاته التغلغل خلال هذه الطبقة ، في حين أنها تظهر تحت الميكروسكوب الالكتروني كطبقة منكمشة غير محددة . وتتكون هذه المادة الهلامية عادة من عديدات السكر (1-2%) في الماء . وكما هو الحال بالنسبة لعديدات السكر المكونة للجدار الخلوي فإنها تتكون من مجموعة مختلفة من السكريات الأحادية تتحد بطرق عدة . وفي بعض الأحيان قد تتكون هذه الطبقة من عديدات البيتيد كما هو الحال بالنسبة للبكتريا المسببة لمرض الجمرة الخبيثة حيث تنتج من بلمرة حمض الجلوتاميك .

وقد تلعب الكبسولة دورا في حماية الخلية ضد كل من الفعل اللاقم والاصابة بالفيروسات ، كما أنها قد تساعد في الحد من التأثير المدمر لسرعة اكتساب الخلايا أو فقدها للمياه في العديد من الأوساط البيعية مثل التربة . وفي النهاية عادة ما تكون للكبسولة القدرة على التبادل الكاتيوني مما يساعد على تركيز وامتنصاص الكاتيونات الضرورية للخلية .

الأسواط والحركة :

تمتلك معظم البكتريا المتحركة زوائد طويلة ورفيعة تمتد إلى خارج سطح الخلية تسمى بالأسواط حيث تتصل من أحد أطرافها - بعد نفاذها من جدار الخلية والغشاء السيتوبلازمي - بتركيب خطافي الشكل وجسم قاعدى . ولا يمكن رؤية كل سوط على حدة تحت الميكروسكوب العادى إلا بعد زيادة سمكه وذلك بتغليفه بمواد وصبغات مترسبه ، في حين تشاهد هذه الأسواط بالميكروسكوب الالكتروني عند صبغها بطريقة الصبغ السالب باستخدام حمض الفوسفوتنجستيك حيث وجد أنها تتكون من وحدات تركيبية متماثلة مرتبة ترتيبا حلزونيا على طول محور السوط لتعطى في النهاية تركيبا مجوفا من الداخل . ومن الممكن فصل هذه الوحدات التركيبية في أوساط حامضية حيث يتبين أنها مكونة من جزئيات بروتينية تسمى فلاجلين ، وعند معادلة حموضة الوسط المحيط تتجمع هذه الجزئيات البروتينية مكونة الأسواط مرة ثانية ، ومن المعتقد أن مثل هذه الطريقة تم أثناء عملية نمو الأسواط . ويختلف أعداد وتوزيع الأسواط الموجودة على سطح الخلية ولذلك فإنها تستخدم كصفه من الصفات التى تستخدم في التعرف على أنواع البكتريا المختلفة وتقسيمها .

ووظيفة الأسواط هي الحركة حيث وجد أن كل الخلايا ذات الأسواط تكون متحركة في الطبيعية ، ومع هذا فهناك أنواع حركة أخرى لكنها أقل شيوعا في الكائنات الحية البدائية النواة مثل :

(أ) الحركة الانزلاقية والتى تستلزم اتصال الخلية مباشرة مع سطح ما ، هذا بالإضافة إلى احتمال وجود بعض التراكيب القادرة على التقلص فى طبقات الخلية الخارجية .

(ب) الحركة الملتوية : تحتوى بكتريا سبيروكيتات والتي تتميز بشكلها الحلزوني على شعيرة محورية تتكون من بروتينات الفلاجلين وذلك بداخل جدار الخلية . وتحدث الحركة نتيجة لتبادل عمليتي الانقباض والانبساط لمثل هذه الشعيرة .

ويمثل هذان النوعان من الحركة أكثر أنواع الحركة بدائية في الكائنات الحية الدقيقة . ولعل انفصال مثل هذه الشعيرة من الجدار مع ارتباطها من طرف واحد بالخلية هو الذى أدى إلى حدوث تطور أعضاء الحركة بتكوين الأسواط .

الزوائد :

قد تحيط بخلايا الكائنات الحية الدقيقة البدائية النواة زوائد أخرى توجد على السطح ، وتتكون هذه الزوائد من وحدات تركيبية عبارة عن جزئيات بروتين منتظمة في شكل حلزوني لتكون خيطا في النهاية إلا أنها تختلف عن الأسواط من عدة نواحي :

(أ) لا تأخذ هذه الزوائد شكلا متموجا كما هو الحال بالنسبة للأسواط كما أنها أقصر طولا .

(ب) تعتبر هذه الزوائد أصغر قطرا (حوالى 10 nm) .

(ج) لا تعتبر أعضاءا للحركة . وتوجد بعض الزوائد التى تسمى بالزوائد الجنسية على أسطح الخلايا المذكورة حيث تستخدم كمعبر لمرور الحمض النووى DNA أثناء عملية التزاوج الوراثى (صفحة 136) . أما وظيفة الزوائد الأخرى فغير مفهومه حتى الآن ، ولو أنه من المحتمل أن تكون أساسا عبارة عن أعضاء التصاق .

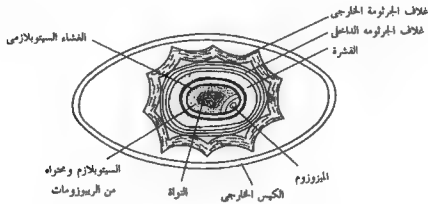
الجراثيم :

كما سبق الذكر تكون بعض خلايا الكائنات الحية الدقيقة البدائية النواة — خاصة التى تعيش منها فى التربة — تركيبات معينة يطلق عليها الجراثيم . حيث تتكون جرثومة داخلية واحدة بداخل كل خلية خضرية ، وفى عملية الإنبات تنتج خلية خضرية واحدة من كل جرثومة . وتلاقى عملية التجرثم اهتماما كبيرا فى الوقت الحاضر نظرا لأنها تعتبر كنموذج مبسط لحدوث عملية التمييز الوظيفى من خلية لأخرى . ويمكن أن تتخذ أساساً لتفسير بعض العمليات الأكثر تعقيداً والتي تتم فى النباتات والحيوانات .



وتظهر الجراثيم الداخلية تحت الميكروسكوب على صورة أجسام لامعة وأحياناً ما تكون أكبر في قطرها عن قطر الخلية الناتجة عنها في حين تلاحظ تراكيب أكثر تعقيداً عند فحص قطاعات رقيقة من الجراثيم تحت الميكروسكوب الإلكتروني (شكل ٢ - ٥) . فبداخل الكيس الجرثومي الذي يختلف في تركيبه من نوع لآخر يوجد غلاف الجرثومة الذي يتكون من طبقات عدة على هيئة صفائح بروتينية ، وبداخل توجد طبقة القشرة السميكة والتي تحتوي على السكريات الببتيدية . وفي المركز يوجد البروتوبلاست الذي يحوى أهم المركبات المميزة للجرثومة والذي يتمثل في معقد من الكالسيوم وثنائي حمض البيكولينيك ويعتقد أن له دور في المقاومة لدرجات الحرارة المرتفعة . وعلى الرغم من أن الجرثومة الداخلية تعتبر من الأطوار الساكنة النموذجية في الكائنات الحية الدقيقة البدائية النواة إلا أنه يوجد نوعين آخرين من هذه الأطوار .

١ - الخوصلة : والتي تعتبر من حيث التركيب والمقاومة للظروف البيئية وسطاً فيما بين الجراثيم الداخلية والخلايا الخضرية . ومن أشهر الأمثلة في هذا الخصوص حوصلات الطحالب الخضراء المزرققة المبينة في الصورة (٩ - ١ الموجودة بصفحة ١٧٤) .

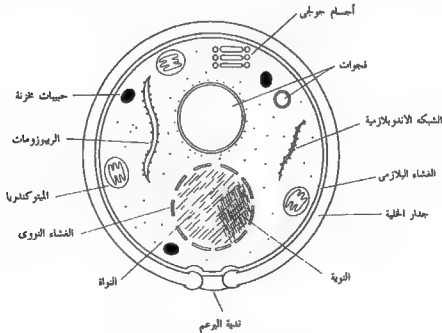


(شكل ٢ - ٥) التركيب الداخلى لجرثومة داخلية نموذجية

٢ - الكونيدات (الجراثيم الخارجية) . وتنتج هذه الأطوار الساكنة عن تكسر أطراف الهيفات الهوائية عديدة الأنوية والخاصة بمجموعة الاكتينوميستيات (صفحة 65) . ونظرا للتشابه بين كل من الاكتينوميستيات والفطريات في تركيب الميسليوم وعملية تكوين الكونيدات ، فإن الاكتينوميستيات عادة ما تقسم على أنها من الفطريات وذلك على الرغم مما هو معروف الآن بتكونها من خلايا بدائية النواة ولو أنها قد تكون متعددة النواة وتأخذ شكلا خيطيا متفرعا .

خلايا الكائنات الحية الدقيقة حقيقية (مميزة) النواة :

تعتبر هذه الخلايا عامة أكثر تعقيدا من خلايا الكائنات الحية الدقيقة البدائية النواة وتكبرها في القطر بما يعادل عشر مرات تقريبا . (حوالى $10 \mu m$) كما أنها تظهر درجة كبيرة من الاختلاف في الحجم والشكل . ومع هذا فلا يتوفر لدينا المعلومات الكافية عن المكونات المختلفة لهذه الخلايا بالمقارنة بخلايا الكائنات الحية الدقيقة البدائية النواة . ومن الصعب تحديد التركيب النموذجي للخلايا حقيقية النواة ويعد الاسترسال في ذلك مضللا . ويجب أن تؤخذ خلية الخميرة المبينة في الشكل (٢ - ٦) واللوحة (٢ - ٢) الموجودة في صفحة ٣٥) فقط على أنها مثال لأحد أنواع هذه الخلايا . ونظرا لأن معظم



(شكل ٢ - ٦) رسم يبين إحدى خلايا الخميرة

الطلاب لديهم فكرة عن تركيب بعض الخلايا حقيقية النواة أثناء دراستهم لعلوم النبات والحيوان فإننا سوف نعرض بالتفصيل لبعض مكونات هذه الخلية فقط مع التركيز بوجه الخصوص على التركيبات التي تساعد في التمييز أساسا بين هذا النوع من الخلايا من جهة والخلايا ذات النوى البدائية من جهة أخرى .

التركيبات الغشائية :

توجد مجموعة من التراكيب الغشائية ذات النفاذية الاختيارية في الخلايا حقيقية النواة تعمل على جعل الخلية كوحدة كاملة تحتوى على غرف كثيرة ومستقلة .

١ - الغشاء البلازمي

يشابه هذا الغشاء من ناحية التركيب الفيزيائي والكيميائي الغشاء السيتوبلازمي في الخلايا ذات النوى البدائية إلا أن هناك اختلاف واضح يتمثل في وجود الأستيرولات في أغشية الخلايا حقيقية النواة . هذا بالإضافة إلى أن الغشاء البلازمي لهذه الخلايا يقوم فقط ببعض وظائف الغشاء السيتوبلازمي بالخلايا بدائية النواة خاصة فيما يتعلق بخاصية النفاذية الاختيارية . كما أنه له وظيفة أخرى لا توجد في الخلايا بدائية النواة وهي القدرة على تناول الغذاء بطرق خاصة وهي الابتلاع في صورته الصلبة أو الارتشاف في صورته السائلة ، وفي كلا الحالتين تتكون فجوات غذائية محاطة بغشاء في السيتوبلازم (شكل ٢ - ٧) . وتوجد بالسيتوبلازم أيضا فجوات ماثلة محاطة بغشاء تسمى الليسوزومات تحوى العديد من الأنزيمات المحللة .

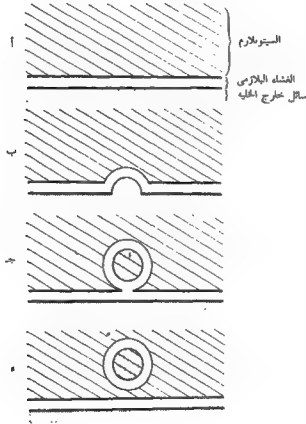
٢ - الفجوات

تكلمنا فيما سبق عن الفجوات المتخصصة في عمليات هضم الغذاء . وقد تلعب هذه الفجوات أيضا دورا في تراكم وتخزين النواتج الوسيطة لعمليات التمثيل الغذائي ، في حين أن الفجوات المنقبضة والتي قد توجد في بعض الخلايا المميزة النواة تقوم بعمليات التنظيم الأسموزي والتخلص من مخلفات الخلية . وعلى العكس من ذلك فإن الفجوات الوحيدة والتي توجد فيما ندر بالخلايا البدائية النواة هي الفجوات الغازية التي تستخدم في طفو الخلايا كما هو الحال بالنسبة للطحالب الخضراء المزرققة .

٣ - الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء

بدلاً من أن تتركز تفاعلات الحصول على الطاقة في الغشاء سيتوبلازمي بالخلية البدائية النواة فإن الخلايا حقيقية النواة تحتوي على أجسام داخل الخلية يحاط كل منها بغشاء وتحدث بها عملية الفسفرة للحصول على الطاقة .

تعتبر الميتوكوندريا مسؤولة عن الفسفرة التأكسدية (الهوائية) كما أنها تأخذ حجماً وتركيباً يماثل الخلية البدائية النواة ، حيث يغلفها غشاء سيتوبلازمي . وفي الحقيقة هناك بعض علماء البيولوجي الذين يعتقدون بأن الميتوكوندريا قد نشأت نتيجة لتطور



(شكل ٧ - ٧) رسم تخطيطي يوضح عملية ابتلاع وانتشال المواد الغذائية إلى الخلية حقيقية النواة . حيث يتلع جزء من السائل خارج الخلية بما قد يحويه من مواد صلبة بواسطة الغشاء البلازمي ويتكون في النهاية لمجرة في السيتوبلازم .

وتخصص خلية بدائية النواة تعيش معيشة متطفلة (أو تكافلية) بداخل الخلية حقيقية النواة. وما يؤيد هذه الفكرة الحقيقة المعروفة عن قدرة الميتوكوندريا على التضاعف الذاتي في الخلية، كما أنها تحتوى بداخلها على كمية معينة من الحمض النووى DNA وريبوزومات تماثل ريبوزومات الخلية بدائية النواة بدرجة أكبر من حقيقية النواة هذا بالإضافة إلى أنه يوجد الآن العديد من الخلايا حقيقية النواة التى تحتوى بداخلها على خلايا بدائية النواة فقدت قدرتها على المعيشة خارج خلية العائل. فعلى سبيل المثال يحتوى البرامسيوم على جسيمات ماثلة للبكتريا والتي يستحيل تنميتها خارج خلية البرامسيوم ولكن تنقل فقط من خلية برامسيوم لأخرى بواسطة عملية التزاوج الوراثى. وسوف نناقش فى الفصل السابع مدى تطبيق فكرة نشوء وتطور الميتوكوندريا على غيرها من النظم الأكثر شهولا والمتعلقة بمنشأ المجاميع الميكروبية المختلفة.

تعتبر البلاستيدات من التراكيب الغشائية المتخصصة فى عملية التمثيل الغذائى والتي تشابه الميتوكوندريا فى احتوائها على مكوناتها الخاصة من الحمض النووى DNA والريبوزومات. وتختلف هذه البلاستيدات اختلافا كبيرا فى شكلها وحجمها فيما بين المجاميع المختلفة للطحالب، كما يعتقد أنها قد نشأت من خلية بدائية النواة تتمتع بالقدرة على التمثيل الضوئى تعيش معيشة متطفلة أو تعاونية بداخل الخلية حقيقية النواة.

٤ — الغشاء النووى :

تحاط النواة الحقيقية بغشاء يحتوى على ثغوب تسمح بمرور الجزيئات الكبيرة الحجم مثل الحمض النووى DNA الحامل للرسالة.

٥ — الشبكة الاندوبلازمية وأجسام جولجى :

على الرغم من أن هذه التراكيب الغشائية منتشرة بدرجة مكثفة فى السيتوبلازم إلا أنها لم تحط إلا بقدر قليل من الدراسة. وتعتبر الشبكة الاندوبلازمية مكان التصاق الريبوزومات كما أنها قد تلعب دوراً فى عملية الاتصال أو فى نظام الارتباط بين مكونات الخلية. أما دور أجسام جولجى فغير مفهوم بالدرجة الكافية ولو أنها فى بعض الطحالب قد تساهم فى عملية تخليق جدار الخلية.

السيوبلازم :

تعتبر حركة السيوبلازم شائعة في الخلايا حقيقية النواة في حين أنها نادرة أو لا توجد في الخلايا بدائية النواة والتي قد يكون صغر حجمها عائقا لملاحظة مثل هذه الظاهرة .

على الرغم من أن ريبوزومات الخلايا حقيقية النواة تقوم بنفس الوظائف التي تقوم بها في الخلايا البدائية إلا أنها تتميز بثابت ترسب أكبر (80 S) وتتكون من وحدتين تركيبيتين 40 S, 60 S ومع ذلك فإنه كما سبق الذكر نجد أن الريبوزومات الموجودة في الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء تتأثل في التركيب مع ريبوزومات الخلايا بدائية النواة .

النواة

تعتبر نواة الخلية حقيقية النواة تركيبيا مستقلا وأكثر تحديدا في تركيبها ، كما أنها محاطة بغشاء وتحتوى على العديد من الكروموزومات وهى كبيرة الحجم وبالتالي تشتمل على كمية أكبر من الحمض النووى DNA على الرغم من أن السبب وراء زيادة هذا المحتوى النووى غير مفهوم حتى الآن . ويتكون كل كروموزوم على حدة من جزئىء مستقيم من الحمض النووى DNA بالمقارنة بالحمض النووى الدائرى الموجود في الخلايا بدائية النواة . ويصاحب النواة جسم يحتوى على الحمض النووى RNA يسمى بالنوية . والتي يبدو أنها تركيب متخصص في عملية تخليق الحمض النووى RNA المكون للريبوزومات ، علما بأن مثل هذه الوظيفة يقوم بها أيضا الكروموزوم الوحيد الموجود في الخلايا البدائية النواة . وتتميز كروموزومات الخلية حقيقية النواة بوجودها على هيئة أشكال مختلفة منضغطة ومنبسطة بالإضافة إلى أنها تحتوى على البروتينات المسماة بالهستونات . ونجد أن تخليق الحمض النووى DNA بالخلية البدائية بالنواة يتم طوال دورة انقسام الخلية ، أما في الخلايا الحقيقية النواة فإنه يحدث عادة خلال فترة تعادل ثلث دورة الانقسام . ويعقب تضاعف الحمض النووى DNA في الخلايا حقيقية النواة حدوث عملية الانقسام الميتوزى التي تعتبر مسئولة عن التوزيع المنضبط للكروموزومات إلى مجموعة كاملة منها تذهب لكل خلية حديثة متكونة .

الحبيبات المخزنة :

وقد تم الحديث عنها فيما سبق (انظر صفحة ٣٨) .

جدار الخلية :

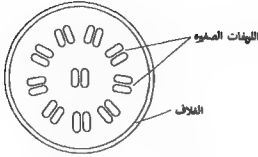
تختلف جدر الخلايا حقيقية النواة اختلافا كبيرا في الشكل والسمك والتركيب الكيميائي . حيث نجد أن معظم أنواع البروتوزوا غير محاطة بجدار إطلاقا وذلك على الرغم من أنها قد تتميز بازدياد صلابة الغشاء البلازمي إلى حد ما حتى يعطى الخلية شكلا محددا ودرجة ما من الصلابة . وعند وجود جدر للخلايا فإنه من الممكن فصلها ثم عزلها بطريقة مماثلة لما سبق ذكره بالنسبة للخلايا البدائية النواة (صفحة ٢٦) حيث تبين أنها تكون أبسط في تركيبها عن جدر الخلايا البدائية النواة .

١ - الطحالب : تتربك جدر خلايا الطحالب أساساً من لوفات تتكون بتناسج جزيئات طويلة من السيلولوز . وقد يوجد بها مركبات عديدة السكر أخرى مكونة من سكر واحد مثل عديد المانوز (وتسمى المانان) أو عديد الزيلوز (الزيلان) وعديد حمض اليورونيك (البكتين) بينما توجد في الأنواع الأخرى من الطحالب جدر مكونة من مركبات السليكا أو كربونات الكالسيوم التي تأخذ أشكالا جميلة وأخاذة .

٢ - الفطريات : تعتبر عديدات الجلوكوز من المواد عديدة البلمرة الشائعة في جدر الفطريات إلا أنها ترتبط برابطة I. β .3 بالمقارنة بالرابطة I. β .4 في حالة السيلولوز . وتكتسب هذه الجدر صلابة ميكانيكية نتيجة للروابط العرضية من النوع I. β .6 لتعطي في النهاية تركيباً سميكاً وصلباً مماثلاً لطبقة السكريات الببتيدية الموجودة في جدر الخلايا البدائية النواة . وتتواجد أيضاً مركبات عديدة المانوز بصورة شائعة في جدر الفطريات بالإضافة إلى مركبات عديدة اسيتيل جلوكوز أمين المشابهة للشيتين الموجود في الفقاريات .

٣ - البروتوزوا : لامتوى البروتوزوا عادة على جدر محددة على الرغم من أنه يوجد في بعضها تركيبات تتكون من السيلولوز وكربونات الكالسيوم والسليكا وكبريتات الاسترانسيوم .

الأسواط والأهداب والحركة :



قطاع عرضي لى سوط الخلية حقيقية النواة

تتحرك الخلايا حقيقية النواة عادة بواسطة أسواط أو أهداب والتي تختلف في تركيبها عن أسواط الخلايا بدائية النواة . فأسواط الخلايا حقيقية النواة تتميز بكونها أكثر سمكا ومحاطة بغلاف يحتوى بداخله على العديد من اللويحات وحيث تتأثر كل لويقة منها في التركيب مع سوط الخلية بدائية النواة . ومن أنواع الحركة الأخرى في الخلايا حقيقية النواة الحركة الأميبية التي تنشأ عن

تدفق السيتوبلازم بداخل الخلايا التي لا يحيط بها جدار للخلية . وعموما تتجه حركة الخلايا حقيقية النواة صوب أو بعيدا عن الحرارة والضوء أو المواد الكيميائية المؤثرة ولو أن هذه الظواهر تعد أقل شيوعا عنه في حالة الخلايا بدائية النواة .

مقارنة بين الخلايا بدائية النواة والخلايا حقيقية النواة:

أظهرت الدراسات المختلفة التي أجريت على تركيب خلايا الكائنات الحية الدقيقة والتي تم مناقشتها في هذا الفصل أن هناك العديد من الاختلافات فيما بين الخلايا حقيقية النواة والخلايا بدائية النواة وذلك من عدة نواح يمكن تلخيصها كما يلي في جدول (٢ - ٢) .

تركيب الفيروسات :

لم يبق الآن إلا مناقشة مجموعة من الكائنات الحية التي تتميز ببساطة تركيبها عن كل من الخلايا بدائية وحقيقية النواة معا . وعادة ما تعتبر أنها كائنات غير خلوية أو عديمة النواة .

جول ٢ - ٢ مقارنة بين الصفات المميزة لكل من الخلايا بدائية
النواة والخلايا حقيقية النواة

الخلايا بدائية النواة	الخلايا حقيقية النواة	
١ μm	١٠ μm	قطر الخلية المثالي
واحد	أكثر من واحد	عدد الكروموزومات
غير موجود	موجود	الغشاء النووي
غير موجود	موجود	الانقسام المتوزي
عادة واحدة	أكثر من واحدة	عدد الغرف الداخلية بالخلية
الغشاء السيتوبلازمي	الميتوكوندريا	موقع الفسفرة التأكسدية
الغشاء السيتوبلازمي	البلاستيدات الخضراء	موقع فسفرة التمثيل الضوئي
نادرة	شائعة	الفجوات
٧٠ S	٨٠ S	حجم ريبوزومات السيتوبلازم
عادة موجودة	غير موجودة	طبقة الببتيدوجليكان
مكونه من لويفة واحدة	مكونه من عدة لويقات	الأسواط
نادر وغير كامل	شائع وبصورة كاملة	التكاثر الجنسي

وتعد الفيروسات متناهية الصغر للدرجة أنه يصعب رؤيتها تحت الميكروسكوب العادي ، وإلى أن اكتشف الميكروسكوب الإلكتروني فقد اقتصر التعرف على وجودها على مقدرة معلق منها على إحداث المرض حتى بعد ترشيحه خلال مرشحات ذات ثقوب صغيرة للغاية (قطرها يعادل $0.2 \mu\text{m}$) تعمل على إزالة الكائنات الخلوية الأخرى . وعلى هذا فقد كان اصطلاح فيروس هو المرادف للكائنات المعدية ذات المقدرة على المرور من المرشحات البكتيرية . ولقد تبين أن الفيروسات تهاجم مجموعة كبيرة من الكائنات الحية تابعة للميكروبات والمملكتين الحيوانية والنباتية .

ويقاس نمو هذه الفيروسات بزيادة مقدرتها على إحداث العدوى وقد ثبت فيما بعد أنه يحدث فقط بداخل خلية العائل . ولقد استخدمت طرق عدة لتنقية جزيئات الفيروس حيث تمكن العالم ستانلي في عام 1935 من الحصول على فيروس تبرقش الدخان وذلك على هيئة بللورات . ويعد ذلكقفزة هائلة حيث أظهرت أن معظم خصائص الفيروسات تتماثل مع خصائص الجزيئات المبلمرة ذات الوزن الجزيئى الكبير والتي تم دراستها بواسطة علماء الكيمياء الحيوية . وعلى هذا فمن الممكن استخدام طرق شبيهة للطرق المستخدمة فى دراسات الكيمياء الحيوية من أجل تنقية الفيروسات ودراستها . وباكتشاف الميكروسكوب الالىكترونى أصبح من الممكن دراسة الخصائص المورفولوجية للفيروسات ثم مقارنة ذلك بنتائج الدراسات الكيميائية التى أجريت على التحضيرات النقية من الفيروسات .

وجرت العادة على تسمية الفيروسات باسم العائل الذى تصيبه أو تبعا لأعراض المرض الذى تسببه . فعلى سبيل المثال نجد أن الفيروسات التى تصيب نباتات الدخان وتحدث بأوراقها بقع نتيجة لإزالة صبغة الكلوروفيل تسمى بغيروس تبرقش الدخان . أما الفيروس المعزول من الغدة النكفية للإنسان فيسمى فيروس الغدة النكفية ، أما الفيروس الذى يصيب بكتريا *Escherichia coli* فيسمى بكتريوفاج *E Coli* أو فاج بكتريا القولون للاختصار . والسلالات المختلفة من الفاجات قد تعطى حروفا وأرقاما كما هو الحال بالنسبة لفاجات بكتريا القولون التى توضع فى سلسلة تحمل الحرف T (صفحة 117) والتى استخدمت على نطاق كبير فى التجارب الأساسية لعلم البيولوجيا الجزيئية . والسبب من وراء نظام التقسيم هذا أن استخدام الصفات المورفولوجية فى هذا الصدد يعتبر غير ذى فائدة . ففى الحقيقة نجد أن العديد من الفيروسات التى تصيب عوائل مختلفة قد يصعب التمييز بينها مورفولوجيا كما هو الحال بالنسبة لفيروس شلل الأطفال وفيروس التبرقش الأصفر فى اللفت . وهناك محاولات حديثة لتطبيق نظام التسمية الثنائية على الفيروسات ولكن للأسف لم يحظ ذلك بالقبول .

حجم وأشكال الفيروسات :

نتيجة لاستخدام الميكروسكوب الالىكترونى فى مشاهدة الفيروسات أمكن التعرف على ثلاث خصائص عامة للفيروسات .

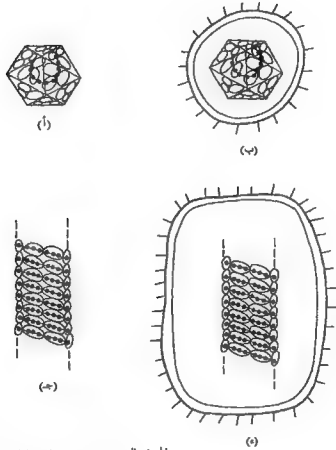
١ - تختلف جزيئات الفيروس في أشكالها وأحجامها اختلافا كبيرا حيث أنها تتراوح فيما بين فاج بكتريا القولون T أم F2 الذى يتميز بكونه مستدير الشكل ويصل قطره إلى ما يعادل 20 nm وبين الفاجات المعقدة التركيب والتي لها ذيل وحتى فيروس الفاكسينيا الذى يظهر فى شكله مثل الطوبة وبأبعاد 250- 300 nm .

٢ - تتأثر جزيئات الفيروس الواحد تماثلا تاما فى الحجم والشكل . ولم تظهر أهمية هذا الاكتشاف إلا مؤخرا بواسطة علماء الفيروسات حيث أدى ذلك إلى استنتاج هام وهو أن الفيروسات لا تنمو وتتكاثر بالمعنى المفهوم ولكن يتم نسخ جزيئاتها أى تتكون من جديد (de novo) .

٣ - أدى استخدام طريقة الصبغ السالب للفحص بالميكروسكوب الالكترونى إلى التعرف عموما على تركيب الفيروسات والذى يتكون من الحمض النووى كجزء مركزى محاط بغلاف بروتينى (يسمى بالكاسيد) والذى يتكون أصلا من وحدات بنائية (يطلق عليها الكابوسمير) . وهذا التركيب الثابت (والذى يسمى أحيانا بالكاسيد النووى) قد يحاط بغطاء خارجى . وبناء على طريقة تجميع الوحدات البنائية فإنه من الممكن تمييز أربعة أنواع رئيسية من الفيروسات موضحة فى شكل (٢ - ٨) بالإضافة إلى وجود بعض التركيبات الأكثر تعقيدا .

(أ) فيروسات عارية ذات عشرين وجه . أظهرت الدراسات المتأنية للفيروسات الكروية أنها تأخذ شكلا مميزا عبارة عن مجسم ذو عشرين وجها بمعنى أن كل جزء مكون من عشرين وجها مثلث الشكل وله اثني عشر قمة . ويتحدد هذا الشكل بناء على الوحدات البنائية البروتينية التى يتم ترتيبها طبقا لقواعد هندسية وبلورية . وأكثر هذه الأشكال بساطة من الناحية النظرية هو ما يحتوى على 20 وحدة بنائية تكون 12 قمة كما هو فى حالة فاج بكتريا القولون من النوع $\Phi \times 164$. وبلى ذلك الشكل الذى يتكون من 32 وحدة بنائية منها 12 للقمة فى حين أن العشرين الأخرى تمثل وحدات الوجه ذاته . والرقم التالى هو 72 منها 12 للقمة وثلاث وحدات مكونة لكل وجه بمعنى $(20 \times 3) + 12$ وهكذا حتى تصل إلى أكبر عدد ممكن من هذه الوحدات البنائية والذى تم التعرف عليه بالنسبة لأحد فيروسات الحشرات المعروف بفيروس التبيولا المتعدد الألوان والذى يحتوى على 812 وحدة بنائية (بمعنى $(20 \times 40) + 12$. ومن المدهش حقا ما يلاحظ من اتباع نفس القواعد فى بناء القباب الجيوديسيه حيث

يمكن بناء تصميم غاية في القوة والصلابة من وحدات بنائية خفيفة سهلة التجميع ويتركز الحمض النووي لهذه الفيروسات بداخل الكابسيد وذلك على صورة مكشفة وتوضح اللوحة (٢ - ٣ أ ، ب) أمثلة من هذا النوع من الفيروسات .



○ وحلقت بنائية بروتينية ■ الحمض النووي
 خطاه خارجي

(شكل ٢ - ٨) رسم توضيحي لأشكال الفيروس الأربعة الأساسية

- (أ) فيروس عاري ذو عشرين وجه
- (ب) فيروس مغلف ذو عشرين وجه
- (ج) فيروس حلزوني معري
- (د) فيروس حلزوني مغلف بغطاء خارجي

(ب) **فيروسات حلزونية معراه :** في حالة الفيروسات الحلزونية نجد أن الوحدات البنائية ترتب حلزونياً بحيث نجد أن كابسيد الفيروس تكون مفرغة من الداخل ويلاحظ التماثل التام بين الوحدات البنائية للغلاف البروتيني كما أن الحمض النووي يتمركز في الأخلود الداخلي لجزء الفيروس الأسطواني كما هو مبين في اللوحة (٢ - ٣ ج) .

(ج) **فيروسات محاطة بغطاء خارجي :** نجد أن الفيروسات الحلزونية أو ذات العشرين وجه قد تحاط في بعض الأحيان بغطاء خارجي مكون من أغشية فضفاضة . وتصيب معظم هذه الفيروسات الحيوانات . ويبدو أن مصدر الغطاء الخارجي ولو جزئياً هو أغشية العائل البلازمية . وتوضح اللوحة (٢ - ٣ د) أحد أمثلة هذه الفيروسات .

(د) **فيروسات معقدة التركيب :** تتميز القليل من الفيروسات بدرجة عالية من التعقيد في تركيبها عنه بالنسبة للفيروسات التي سبق ذكرها . ولعل من أهم الأمثلة في هذا المجال البكتريوفاجات خاصة فاجات بكتريا القولون (صفحة ٥٢ ولوحة ٢ - ٤ الموجودة بصفحة ٣٧) . فبينما نجد أن رأس الفاج عبارة عن جسم ذو عشرين وجه يحتوي على الحمض النووي للفيروس فأننا نجد هناك ذيلاً بالغاً في التعقيد يتصل بهذا الرأس حيث يحتوي على الأقل على خمسة أنواع من البروتينات مكونة لكل من الغمد والقناة الداخلية والرقبة وقاعدة الذيل والخيوط . ومع ذلك فإن كل هذه التركيبات تتكون بعملية التكاثر للوحدات البنائية بطريقة تماثل عملية التبلور . وسوف نناقش أهمية ذلك عند الحديث عن تضاعف الفيروسات وتكاثرها في الفصل السابع .

التركيب الكيميائي للفيروسات :

تتكون الفيروسات كيميائياً من مركبين أساسيين هما البروتين والحمض النووي . وفي معظم الفيروسات لا يتواجد إلا هذين المركبين فقط كما سنناقش ذلك في الفصل السابع . ويعتبر الحمض النووي هو المسؤول عن تضاعف الفيروس ، في حين أن البروتين يختص بعملية انتقال الحمض النووي من خلية لأخرى .

١ - البروتين :

تتكون بروتينات الفيروس من نفس الأحماض الأمينية التي تتكون منها خلايا الكائنات الحية المختلفة . ومعظم هذه البروتينات إن لم يكن جميعها تعمل على تكوين

الوحدات البنائية الصغيرة التي تتحد بلورها لتكوين وحدات بنائية أكبر التي تكون في النهاية الكاسيد التي تعتبر كغلاف واقٍ يحيط بالحمض النووي . وأحيانا تتواجد بعض الأنزيمات كجزء من مكونات الفيروس ولكن دورها الوحيد هو تسهيل اختراق الحمض النووي إلى داخل خلية العائل . ومثال ذلك انزيمات الليزوزيم الموجودة في ذيل البكتريوفاج (صفحة 120) .

٢ - الحمض النووي :

يتواجد أي من الحمض النووي DNA أو RNA في جزيء الفيروس الواحد . وتعتبر هذه إحدى الصفات المميزة للفيروسات عن الكائنات الخلية الأخرى التي عادة ما تحتوي على كل من الحمضين النوويين DNA, RNA . وبرغم أن الحمض النووي DNA يوجد عادة على هيئة ضفيرة مزدوجة والحمض النووي RNA على هيئة خيط مفرد فإنه في حالات قليلة تحتوي بعض الفيروسات على خيط واحد من الحمض النووي DNA أو ضفيرة مزدوجة من الحمض النووي RNA . وعلى أية حال فإن الحمض النووي يتواجد على هيئة خيط واحد (كروموزوم) قد يأخذ شكلا دائريا ويحتوي على عدد من النيوكليوتيدات تتراوح بين بضعة آلاف إلى 250,000 . وعلى هذا نجد أن محتوى الفيروسات من الحمض النووي تتراوح فيما بين 1% كما في حالة فيروس الأنفلونزا وحتى 50% كما في حالة بعض البكتريوفاجات .

٣ - مكونات الفيروس الأخرى :

تعتبر الليبيدات من أهم المكونات الإضافية التي توجد بجزء الفيروس حيث تدخل في تكوين الغلاف الخارجى لبعض الفيروسات الحيوانية ، حيث تكون ما يعادل 50-5% من محتوى الفيروس . وقد توجد أيضا السكريات العديدة في غلاف الفيروس الخارجى ولكنها بالإضافة إلى الليبيدات قد تمثل مركبات الفيروس التي يكتسبها من خلية العائل عند خروج جزيئاته من خلال الغشاء البلازمي . بل أنه من الصعب الآن التأكد مما إذا كان بعض مكونات الفيروس ذات الوزن الجزيئي المنخفض تعتبر من المكونات الحقيقية أم أنها ببساطة مأخوذة من خلية العائل ومع ذلك فهناك عديدات الأمينات مثل الأسبرمين والأسبرميدين والتي توجد بكميات ملموسة وغالبا ما تعمل على معادلة المجموعات الحامضية بالحمض النووي وذلك لتسهيل عملية إحكام تعبئته وتكثيفه بداخل

كابسيد الفيروس . ويرتبط بذيل الفاج جزئيات من ATP (الأدينوسين ثلاثي الفوسفات) وأيونات الكالسيوم والتي يعتقد أنها تلعب دورا في عملية انضغاط الذيل أثناء الدخول في خلية العائل .

التمييز فيما بين الفيروسات وكل من الخلايا البدائية والحقيقية النواة .

لعله يبدو واضحا مما ذكر سابقا أن الفيروسات تختلف اختلافا ظاهرا عن كلا النوعين من الخلايا وذلك من ناحية التركيب والمكونات الكيميائية . ومن الأسر معرفة كل هذه الاختلافات عند مناقشة تضاعف الفيروسات وتكاثرها في الفصل السابع . ولكن نجد أن بساطة وتمائل التركيب ، تواجد إحدى صور الأحماض النووية بالإضافة إلى عدم احتواء الفيروس على أنزيمات للتمثيل الغذائي يؤكد اعتبار الفيروسات كمجموعة مستقلة بذاتها . وعلى العكس مما كان معتقد سابقا فإنه لا يبدو أن هناك أشكال وسطية تقع بين الفيروسات والكائنات الخلوية الأخرى ولكن قد تكون الفيروسات نشأت نتيجة للتضاؤل والتبسيط في تركيب خلايا متطفلة ، وسوف نناقش ذلك مؤخرا .

الفصل الثالث

حصر الكائنات الحية الدقيقة

قبل أن نتعرض للمجال الواسع من الكائنات الدقيقة التي توجد في الطبيعة لابد لنا من قول كلمة عامة عن نظام التسمية والتعريف والتقسيم فالهدف من التسمية ببساطة هو أن يكون لنا القدرة على إعطاء الكائن اسم يبيننا الهدف من التقسيم هو وضع الكائنات المسماة في مجاميع منظمة تعكس التشابه بين أفراد كل مجموعة والاختلاف بين المجاميع المختلفة . ولو كان اهتمامنا مقصوراً على التعريف كما يحدث مثلاً عند تعريف مرض ما فإن الصفات المستخدمة في مثل هذا التعريف يجب أن يكون من السهل قياسها وإجرائها في المعامل المختلفة كما أنه يجب أن يكون تعريفا مفيدا يتوصل إليه بدراسة أقل عدد ممكن من الصفات ، بمعنى آخر أننا نرغب في تكوين مفتاح تقسيمي له قيمة عملية وتندرج معظم أنواع التقسيم الميكروبي تحت هذا النوع . ومن المهم أن تكون هناك بعض الصفات أهم من الأخرى لأنها ببساطة أكثر نفعا في عملية التعريف . ول سوء الحظ (أو حسن الحظ في رأي البعض) فإن التقسيم المبني على أساس وراثي والذي يعتمد على العلاقات التطورية بين الكائنات الدقيقة غير ممكن بسبب عدم وجود أدلة كافية تدعّمه وتعطي الحفريات الميكروبية القليل من التفاصيل بينما الطرق الأكثر تقدما التي تعتمد على الدراسات البيولوجية الجزيئية مازالت في مهدها . ومع هذا فقد أجريت محاولات حديثة لعمل تقسيم أكثر سهولة . فالتقسيم العددي باستخدام الحاسب الآلي يعتمد على دراسة أكبر عدد من الصفات يعطى لكل منها قيمة مماثلة ، وتدخل النتائج في الحاسب الآلي وذلك لتحديد التشابه والاختلاف بين مجاميع الكائنات الدقيقة وبذلك يمكن تحديد المجاميع الطبيعية .

ونذكر فيما يلي الصفات التي يستخدمها المشتغلين بعلم الميكروبيولوجيا :

١ - صفات مورفولوجية : والتي قد تم مناقشتها في الباب السابق حيث تشتمل على شكل وحجم الخلية ، التفاعل مع الصبغات ووجود أو عدم وجود جراثيم ، شكل التكاثر ، نوع الحركة الخ .

٢ - الصفات المزرعية : وهذه تشمل الاحتياجات المزرعية للتكاثر (عناصر غذائية ، الأكسجين ، درجة الحرارة .. الخ) والطريقة التي يحدث بها النمو في البيئات السائلة وعلى البيئات الصلبة خاصة (مثل شكل المستعمرة) .

٣ - الصفات البيوكيميائية : هناك صفات بيوكيميائية متخصصة مثل نواتج التثليل الغذائي ووجود أو غياب أنزيم أو تفاعل معين .

٤ - الصفات السيرولوجية : يمكن الكشف عن طبيعة الانتيجينات السطحية باستخدام الأجسام المضادة المتخصصة (صفحة 156) .

٥ - الصفات الوراثية الجزيئية : وهذا اتجاه جديد في التقسيم حيث أصبح متاحا بعد التقدم الذي حدث في علوم البيولوجيا الجزيئية فمثلا يمكن استعمال عوامل متعلقة بتركيب الحمض النووي DNA فعلى الرغم أن كمية الأدينين (A) مساوية للثيامين (T) وكمية الجوانين (G) مماثلة لكمية السيتوسين (C) إلا أن هناك تنوع كبير في النسبة بين الجوانين والسيتوسين (G + C) إلى الأدينين والثيامين (A + T) من جهة أخرى .

بفرض اتباع نظام تقسمي من نوع ما كيف يمكن تسمية إحدى الكائنات الحية الدقيقة ؟ في العادة تستعمل تسمية ثنائية حيث يعطى كل نوع اسم مكون من كلمتين : الأولى هي الجنس وتبدأ بحرف كبير والثانية هي النوع تبدأ بحرف عادي . وأحيانا يقسم النوع إلى أصناف (Varieties) أو سلالات (Strains) : ومثالا لذلك (سلالة) K 12 (نوع) *E. coli* (جنس) *Escherichia* .

ومن الواضح انه بمجرد استعمال التسمية الثنائية البسيطة يتضح أن هناك نظام طبقي قد استخدم وأن هناك ثلاث أسئلة تطرح نفسها :

(أ) كيف حدد النوع ؟

(ب) كم من الأنواع يمكن جمعها تحت جنس واحد وما هي الصفات المميزة لهذا التجميع ؟

(ج) هل يجب جمع الأجناس بطريقة مماثلة لتكوين تقسيم متعدد الطبقات ؟

دعنا نتناول هذه الأسئلة باختصار خاصة ما يتعلق بالبكتريا :

(أ) النوع : يعد التكاثر الجنسي نادر الحدوث وإذا حدث فيكون بصورة أولية لا تسمح بتعريف النوع على أساس القدرة على التزاوج . بالإضافة إلى أن الكائنات الحية الدقيقة في العادة أحادية المجموعة الكروموزمية وغالبا ما تكون معرضة للانتخاب الوراثي ، بمعنى آخر يحدث تكوين أشكال جديدة مختلفة من هذه الكائنات بسرعة شديدة استجابة للتغير في البيئة (انظر صفحة 132) . وكل ما يمكننا عمله هو أن نختار صفات عامة مفيدة نستعملها في تحديد النوع .

(ب) الجنس : وبطريقة مماثلة نجد أن تجميع الأنواع في أجناس يجب أن يكون بطريقة عملية خاصة في غياب المعلومات عن التاريخ الوراثي . ومرة أخرى يجب استخدام مجموعة من الصفات المتأصلة أكثر تحديدا وأصاله من تلك المستعملة في تحديد النوع . ويجب الاعتراف بأن عدم وضوح تعريف الجنس أدى إلى اختلاف شديد في استعماله لهذا نجد أن جنس *Bacillus* يشمل كل البكتريا الهوائية العصوية الشكل المحتوية على جراثيم داخلية الموجبة لصبغة جرام حيث يشتمل على عدد كبير من الأنواع . ومن ناحية أخرى الجنس *Salmonella* محدد بمجموعة من البكتريا الممرضة للانسان والحيوانات الأخرى وباستثناء نوع المرض الذي تحدده والتركييب الكيميائي الخاص للأنتيجينات الموجودة في جدر الخلية نجد أن أنواع هذا الجنس تختلف اختلافا ضئيلا للغاية فيما بينها . وقد أكد استعمال الحاسب الآلي في التقسيم العديدي وجود علاقة قوية بين الأنواع أكثر منها بين الأجناس ، أى أن البكتريا توجد في مجاميع طبيعية على الرغم من أن حدوث ذلك قد يكون نتيجة لاستيطانها لبيئات طبيعية وقيامها بأدوار متشابهة تأقلمت عليها . وقد أدى هذا التأقلم في حد ذاته إلى انتخاب صفات معينة .

(ج) العائلات وغيرها :

من المعتاد أن تجمع الأجناس مع بعضها ثم يتوالى ذلك في تقسيم وراثي متصاعد كما

هو مبين في الأقسام التالية الأنواع ، الأجناس ، (القبائل) ، العائلات ، (تحت الرتبة) ، الرتب ، الصفوف . وبالطبع فإنها فكرة جذابة لنوى العقول المنهجية أن يتبنوا هذا النظام ، ولكن نظرا لأن هذا التقسيم لايساعد على تعريف أو تسمية الكائنات فإنه يلزم الاعتماد على التاريخ الوراثى لهذه الكائنات . ولكن لما كنا لا نعرف كثيرا عن التطور والنشوء الميكرونى فإنه من المشكوك فيه أن تكون هناك أى فائدة لوضع تقسيمات وسطية عند تقسيم الكائنات بدائية النواة تفصل بين البكتريا والطحالب الخضراء المزرقه من جهة وبين الأجناس التابعة لهذه المجموعة من الجهة الأخرى . بينما قد يكون ممكنا عمل تقسيمات رئيسية فى المجاميع الأساسية للكائنات الدقيقة حقيقية النواة (الطحالب ، الفطريات والبروتوزوا) ولكن مرة أخرى يمكن المجادلة فى هذا الشأن بأنه لا يوجد أى دليل من ناحية التاريخ الوراثى قد يؤيد ذلك .

الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة

كيف يمكننا تقسيم الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة ؟ ربما يكون منطقيا أن يكون تعبير الكائنات الحية بدائية النواة معادلاً للتعبير عن البكتريا إلا أن اكتشاف الطحالب الخضراء المزرقه واعتبارها أيضا بدائية النواة قد سبب خلطا فى هذا الشأن . فى هذا الكتاب سوف نستعمل اصطلاح الطحالب الخضراء المزرقه ويقصد به تلك الكائنات بدائية النواة التى تنتج الأكسجين خلال عملية التمثيل الضوئى بينما سنطلق على كل الخلايا الأخرى بدائية النواة اسم البكتريا . وفى الحقيقة توجد فروق كبيرة داخل مجاميع البكتريا أكبر من تلك التى توجد بين بعض مجاميع البكتريا والطحالب الخضراء المزرقه ، ولكن من الصعب لأسباب تاريخية الاستغناء عن استعمال التسمية الأخيرة .

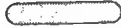
هل من الممكن تقسيم البكتريا إلى مجاميع رئيسية ؟ مع أن هذا يحدث فى الغالب فقد سبق وأن أشرنا إلى أن هذا التقسيم ليس حقيقيا فى ضوء المعلومات المتوفرة لدينا حاليا . كما سنشير إلى بعض المجاميع التى سيأتى ذكرها فيما بعد مثل البكتريا الهلامية ، البكتريا المثبتة للنيتروجين الجوى ، البكتريا الخلزونية والتى لا يوجد ما يدعم استقلالها وراثيا ومع ذلك يستخدم هذا التقسيم لكونه ملائما . والآن دعنا نعرض لتنوع الخلايا بدائية النواة من حيث تركيبها تاركيبن صفاتها البيوكيميائية والوراثية لفصول أخرى تالية .

أشكال الخلية :

هناك ثلاث أشكال رئيسية للخلايا



(أ) خلايا كروية الشكل



(ب) خلايا عصوية الشكل



(جـ) خلايا حلزونية



أو ضمية الشكل

التركييب متعددة الخلايا :

في بعض الأحيان تنقسم الخلايا وتتكون جدر عرضية ولكن لاتنفصل الخلايا الجديدة عن بعضها ، وبهذه الطريقة يتكون تراكييب غير متميزة حيث يعتمد شكل هذه التكوينات على المستويات التي تنقسم فيها هذه الخلايا . لهذا فالخلايا العصوية تنقسم في مستوى واحد وإذا ظلت الخلايا متصلة يتكون خيط متصل من الخلايا . ومثل ذلك الانقسام يلاحظ في الطحالب الخضراء المزرقة (شكل ٩ - ٢ صفحة 175) .



وبالنسبة للخلايا الكروية قد تظهر عدة أشكال من هذه التراكييب :

(أ) خلايا تنقسم في مستوى واحد وتظل متصلة في أزواج مثل :

Diplococci



ثنائية

(ب) خلايا تنقسم في مستوى واحد وتظل متصلة لتكون سلسلة مثل :



(ج) خلايا تنقسم في مستويين لتعطي صفائح مثل :



(د) خلايا تنقسم في ثلاث مستويات بانتظام لتعطي مكعبا مثل :



(هـ) خلايا تنقسم في ثلاث مستويات بدون انتظام مثل :



أما البكتريا الحلزونية فغالباً لا تكون خلاياها متصلة ولكن الخلايا المنفصلة لكل نوع تظهر اختلافات مميزة في الطول وفي إحكام تكون الحلزون .

في جميع الحالات السابقة يكون الشكل المتعدد للخلايا متكوناً من خلايا منفردة ، ومع هذا ففي الأكتينوميستينات تتكون خلايا عديدة الأنوية بدون جدر عرضية حيث تنتج ميسيليوما متفرعاً ليس له طول محدد والذي يبدو في مظهره مشابهاً للقطريات الخيطية :

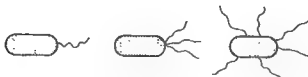


الجراثيم والحوصلات :

لقد تم مناقشة الجراثيم والحوصلات في الباب الثاني (صفحة 43) ، حيث غالباً ما يستفاد من تواجدهم وموقعهم في الخلية كصفات مميزة .

الحركة :

كما ذكرنا سابقاً (صفحة 41) قد تتحرك الكائنات بدائية النواة بالأسواط أو بالانزلاق أو بواسطة خيوط مركزية . وإذا ما كانت الحركة بواسطة الأسواط ، قد يكون ترتيب هذه الأسواط ذو فائدة في تعريف وتمييز هذه الكائنات .



وحيدة السوط

طريقة الأسواط

محيطية الأسواط

الأعناق :

قليل من أنواع البكتريا لها أعناق تستخدم في الالتصاق بالأسطح الصلبة حيث تستعمل في ذلك ماسك في طرف العنق .

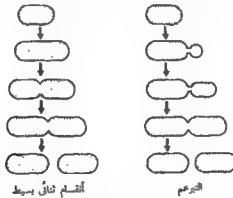


وهذا الاتصال يصبح ثابتا ، وعند انقسام الخلية تنتج خلية ذات سوط تسبح في الوسط حتى تجد سطح جديد فتكون عنق بدلا من السوط ولهذا فدورة الحياة لهذه الكائنات بسيطة تشتمل على مرحلتى السباحة والالتصاق .



البراعم :

تنقسم غالبية البكتريا بالانقسام الثنائى البسيط حيث تتضاعف الخلايا في الحجم ثم تنقسم إلى نصفين متماثلين يدخل كل منهما في انقسام آخر ليعيد هذه العملية . ومع هذا فهناك القليل من أنواع البكتريا التى تنقسم بالتبرعم وبطريقة مماثلة للتبرعم في الخمائر .



من الصفات الملفتة للانتباه أن الانقسام الثنائى يتميز عن التبرعم في أنه لا تكون هناك آباء وأبناء ولا تظهر علامات الشيخوخة بالمعنى المفهوم .

غياب جدار الخلية :

بعض البكتريا التي تسمى عادة بالميكوبلازما ليس لديها القدرة على تكوين جدار خلوى . لذا فهي متعددة الأشكال لعدم وجود جدار صلب وتكون عرضة للتحلل رغم أن الغشاء البلازمي لها قد يكون مدعما بمواد مثل الاستيروولات المستمدة من العائل التي تتطفل عليه. ومن المحتمل أن تكون الميكوبلازما أكثر انتشارا في الطبيعة عما كان معتقدا ، فمن الممكن عزلها بسهولة من دماء الحيوانات ذات الدم الحار بما فيها الإنسان وكذلك من النباتات . وحيث أنها قد تكون نشأت نتيجة فقد بعض البكتريا لجدرها الخلوية إلا أنها تختلف عنها في كثير من الصفات الهامة ، ولعل هذا يوضح الخطورة في تجميع العديد من الكائنات الحية وتقسيمها بناءا على صفة واحدة .

الطفيليات التي تعيش داخل الخلايا حقيقية النواة :

هناك أنواع من البكتريا تستطيع التطفل على الكائنات حقيقية النواة وأشد ما يثير الانتباه هي تلك المجموعة التي فقدت القدرة على النمو خارج خلايا العائل . وتتميز أفراد هذه المجموعة بأن نظام تمثيلها الغذائي بدائي جدا ويفترض أن تطورها إلى معيشة التطفل التام كان سببا في التسيط الشديد في الأنزيمات والجينات اللازمة لها (صفحة 116) . ولهذا السبب فإن حجم هذه البكتريا يكون صغيرا حيث قد يصل قطرها بالتقريب إلى $0.3 \mu m$ ، وبذلك تكون أصغر أشكال الحياة الخلوية الممكنة حيث أن هناك حدود لدرجة اعتيادها في حياتها على خلايا العائل دون أن يصبح تركيبها مماثل لتركيب الفيروس . وبالتأكيد فان الكائنات من هذا النوع (الركتسيا والكلاميديا) تحتوى كل من الحمض النووى DNA والحمض النووى RNA كما أن لها معظم خصائص الكائنات الحية بدائية النواة .

الطفيليات التي تعيش داخل الخلايا بدائية النواة :

اكتشفت حديثا مجموعة من البكتريا تتميز بحركتها السريعة وهي تعيش متطفلة على كائنات أخرى بدائية النواة . فنجد أن هذه الخلايا تلتصق بجدار خلية العائل وتخرقها إلى داخل السيتوبلازم حيث تتكاثر مؤدية في النهاية إلى تحلل خلية العائل ، ومثل هذه الكائنات تسمى bdellovibrios والتي غالبا ما تكون منتشرة في أوساط بيئية مثل التربة .

البكتريا المكونة للأجسام الثمرية :

نجد أن القليل من البكتريا مثل الميكسوبكتريا لها خاصية تكوين أجسام ثمرية ، وهى أجسام متخصصة متعددة الخلايا مماثلة لتلك التى تكونها بعض الفطريات . فعند توفر بعض الظروف البيئية مثل نقص الغذاء تتجمع مجموعة من الخلايا الخضرية وتكون جسما ثمريا له شكل مميز للنوع وقد تتحول بعض الخلايا فى قمة الجسم الثمرى إلى حوصلة ، وتعتبر هذه المجموعة من البكتريا المكونة للأجسام الثمرية أكثر الكائنات بدائية النواة تعقيدا من حيث نظام ودورة حياتها . وقد لاقت هذه المجموعة اهتماما شديدا حيث أن عملية تكوين الأجسام الثمرية قد تمذنا بنظام بدائى وبسيط للاستجابة على الأسئلة التالية والتى تعتبر مفتاحا هاما لفهم أشكال الحياة الأكثر رقا .

(أ) ما الذى يؤدى إلى تشكل الخلايا وتميزها ؟ ولقد ذكرنا بالفعل أن عملية التجزئ للكائنات بدائية النواة تمثل أبسط النظم فى هذا الخصوص .



(ب) ما الذى يعمل على تجمع الخلايا لتنتج تركيبا متعدد الخلايا ؟

(ج) ما الذى يحدد شكل هذا التركيب المتعدد الخلايا ؟

الكائنات الحية حقيقية النواة :

تشتمل المجاميع الثلاثة المكونة للكائنات حقيقية النواة على الفطريات والطحالب والبروتوزوا (أحيانا يفصل عنها المجموعة الرابعة المشتملة على الفطريات الهلامية) ومع أنه من الممكن التفرقة بوضوح بين الصفات المميزة لكل من هذه المجموعات فإن هناك بعض الأشكال الوسيطة . وفى الحقيقة فإنه من الصعوبة بمكان أن نضع عدد محدد من

الصفات المميزة لكل مجموعة . وتلقى مجموعة الكائنات حقيقية النواة اهتماماً قليلاً حيث أنها تقع بين مجموعة فريدة من الكائنات الدقيقة (البكتريا والفيروسات) والتي اهتم بدراساتها علماء الميكروبيولوجيا وبين مجموعة أخرى (النباتات والحيوانات) عكف على دراستها علماء النبات والحيوان . وتشذ الخماير عن هذه القاعدة للدرجة ما وذلك لأهميتها الاقتصادية ولبساطتها نسبياً . ويعتبر هذا النقص في المعلومات من سوء الحظ حيث أن الكائنات حقيقية النواة تشتمل على مجموعة كبيرة من الكائنات الفريدة والمتنوعة والتي سوف نعلم عنها الكثير بلا شك في المستقبل . وربما سيكون نتيجة مثل هذا التطور العمل على فصل الكثير من المجموع والتي قد تم ضمها ووضعها في الثلاث مجاميع الرئيسية المعروفة حالياً .

الفطريات :

والآن دعنا نأخذ في الاعتبار بعض الصفات الرئيسية للفطريات الخيطية :

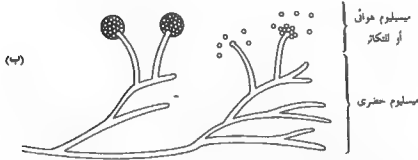
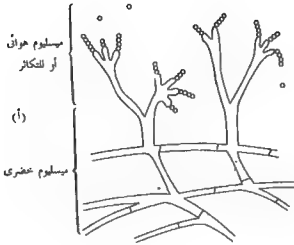
١ - عبارة عن كائنات دقيقة حقيقية النواة غير ذاتية التغذية تستمد غذائها على صورة ذائبة بالامتصاص خلال الغشاء البلازمي بطريقة مماثلة للكائنات بدائية النواة .

٢ - لها جدار خلوي سميك يتكون عادة من عديدات السكريات البسيطة (انظر صفحة 49) .

٣ - لها نمو خيطي متفرع (ميسليوم) مكون من خيوط فردية تسمى هيفات ، وتنتج الهيفات المتشابكة والملتفة عن طريق التفرع الذي يتكون خلف القمة النامية لها أو بواسطة الالتحام الهيفي ، وفي بعض الأحيان قد تكون الهيفات المتجمعة تركيباً مماثل تركيب الأنسجة في النباتات الرقيقة (كما هو الحال في فطريات عيش الغراب) .

٤ - الهيفات أنبوية تتكون أساساً من أنابيب عديدة الأنوية والسيتوبلازم مستمر خلالها . في بعض الهيفات لا تكون هناك جدر عرضية بينها في البعض الآخر توجد حواجز عرضية بها ثقب تسمح باستمرار السيتوبلازم .

٥ - تتأقلم الغالبية على المعيشة في التربة حيث أنها مهمة في تحويل الكربون العضوي في التربة إلى CO_2 . يخصص الجزء الأعظم من الكائن (الميسليوم الخضرى) بامتصاص المواد الغذائية والتثبيت بالأسطح الصلبة (شكل ٣-١) .

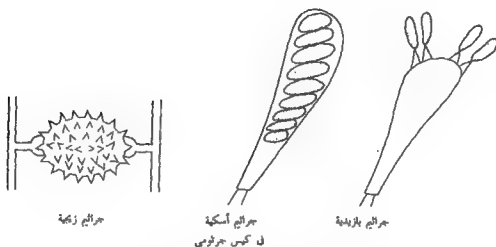


(شكل ٣ - ١) نوعان مختلفان من الجراثيم غير الجنسية ونوعان مميزان من الميسليوم الخضري

(أ) *Penicillium* مكوناً جراثيم غير جنسية على شكل كونيديات .
(ب) *Mucor* مكوناً جراثيم لاجنسية في كيس جرثومي وميسليوم خضرى

٦ - تنتج من الميسليوم الخضري هيفات هوائية متخصصة ومنها تتكون جراثيم لاجنسية . وقد تتكون الجراثيم كخلايا فردية في قمة الميسليوم (الجراثيم الكونيدية والكونيديات) أو داخل تركيب يسمى حافظه جرثومية (شكل ٣ - ١) وفي بعض الأحيان تتكون الجراثيم داخل الهيفا بطريقة تشابه تكوين الجراثيم الداخلية في البكتريا مكونة جراثيم ساكنة (الجراثيم الكلاميدية) ، بينما يكون الميسليوم الخضري عادة عديم اللون نجد أن الميسليوم الهوائى أو التكاثرى غالبا ذو ألوان متألقة . وهذه العملية لها وظيفة هامة ألا وهى الانتشار حيث أن كل فطر ينتج أعداد هائلة من الجراثيم الخفيفة التى تحمل بسهولة من مكان لآخر بواسطة تيارات الهواء .

٧ - الجراثيم الجنسية (شكل ٣ - ٢) تتكون هذه الجراثيم نتيجة للتكاثر الجنسي . ويوجد عدد كبير من التركيبات التي تحمل الجراثيم الجنسية وقد تكون الأجسام الثمرية معقدة التركيب . وكنتيمة للتكاثر الجنسي تحدث مراحل متبادلة للخلايا ذات المجموعة الكروموزومية الأحادية والخلايا ذات المجموعة الكروموزومية المزدوجة ، مما ينتج عنه دورة حياة معقدة (انظر صفحة 139) . ومن الواضح أن الفطريات بها عدد كبير من التركيبات التي تحمل جراثيم وهذه يمكن استعمالها بكفاءة في تقسيم هذه المجموعة من الكائنات الحية الدقيقة .



شكل (٣ - ٢) أشكال مختلفة من الجراثيم الجنسية

ومع أن الغالبية العظمى من الفطريات تكون هيئا متعددة الخلايا كما أوضحنا سابقاً إلا أن القليل منها يتميز بأنه أحادى الخلية . وهذه هي الخمائر والتي يتضح أن هناك مؤشرات لتطور منشأها نتيجة لقدرة البعض منها — في ظروف بيئية معينة — على إنتاج سلاسل من الخلايا تماثل الهيفات وتسمى بالميسليوم الكاذب ، والعديد منها أيضا ينتج جراثيم جنسية ولا جنسية . وطريقة التكاثر العادية بها هي التبرعم مع أن بعضها يتكاثر بالانقسام الثنائي . وتوجد الخمائر عادة في البيئات السكرية حيث تقوم بوظيفتها المعروفة وهي التخمر الكحولي (انظر صفحة 179) .

الطحالب :

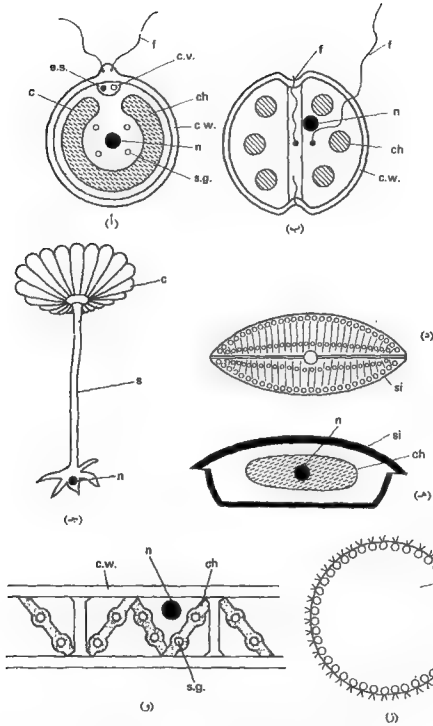
من الصعب التقليل من أهمية الطحالب في الماء العذب أو في البيئات البحرية حيث قد توجد بكميات كبيرة في الطبقات السطحية بالمياه بحيث تبدو ملونة . وتكون الطحالب في المحيطات الجزء الأعظم من الغطاء النباتي وربما تكون كتلة الطحالب هذه أكبر من كل النباتات الموجودة على سطح الأرض كما أنها هي المسؤولة عن تصنيع ما يزيد على ٥٠٪ من المواد العضوية مستخدمة ثاني أكسيد الكربون . ومع أن الطحالب توجد أساساً في المياه فإن البعض منها ينمو في التربة وعلى سطح النباتات الخضراء طالما توفر لها قدر معقول من الرطوبة . وفي البيئات الأكثر جفافاً يتحتم على الطحالب أن تحتوى من الجفاف بالتعايش مع الهيفات الفطرية لتكون آشنات (صفحة 150) .

ماهى أهم مميزات الطحالب ؟

١ - تحصل على الطاقة اللازمة لها بواسطة عملية التمثيل الضوئي المنتجة للأكسجين والتي تتم في البلاستيدات الخضراء التى تظهر اختلافا شديداً في الشكل والعدد بكل خلية ، كما أنه يوجد أنواع مختلفة من صبغات الكلوروفيل التى تعتبر في حد ذاتها مميزه لكل مجموعة من الطحالب .

٢ - تظهر الطحالب اختلافات مورفولوجيه كبيرة . فعلى الرغم من أن البعض منها وحيد الخلية نجد أن البعض الآخر يكون تجمعات من الخلايا منغمسة في طبقة مخاطية ، والبعض الآخر ينتج خيوطاً قد تكون متعددة الخلايا والأنوية أيضاً . وبعض الطحالب مثل الأعشاب البحرية تكون مستعمراتها تركيباً معقداً للدرجة قد تماثل تركيب النباتات وذلك على الرغم من عدم وجود أى تميز وظيفي كما هو الحال بالنسبة للنباتات والحيوانات الراقية . ويجدر الإشارة إلى أن بعض الطحالب البحرية البنية قد لا تدرج تحت الكائنات الحية الدقيقة المجهرية حيث يبلغ طولها الخمسون متراً .

وتصل بعض الطحالب وحيدة الخلية إلى درجة مدهشة من كبر الحجم والتعقيد . فنجد أن خلايا طحلب *Acetabularia* ذات قاعدة تشبه الجنور وجذع قد يصل في طوله إلى عدة سنتيمترات وغطاء شبيه بالمظله (شكل ٣ - ٣ أ) ، يستخدم هذا الطحلب كنموذج لدراسة علاقات السيوبلازم بالنواة ، حيث أن النواة الكبيرة الحجم



شكل ٣-٣ (أ) نموذج لبعض الطحالب . ١- هـ طحالب وحيدة الخلية

(أ) *Chlamydomonas* ، (ب) *Gymnodinium* ، (ج) *Acetabularia* ، (د) نباتات - منظر علوي للصدفة الميكروبية ، (هـ) قطاع عرضي لـ الدياتوم . (و) طحالب خيطي *Saprogya* ، (ز) قطاع عرضي في مستعمرة طحالبية *Volvox* حيث : C غطاء ، C. V. فجوة مستطيلة ، C. W. جدار الخلية ، Ch بلاستيدات خضراء ، e. s. بقعة عينية ، f سوط ، m طبقة جلالية ، n القواء ، S. g. حبيبة غزنه ، s العنق ، si صدفة ميكروبية .

تستقر في قاعدة الخلية كما أنه يسهل نزعها . وتتميز الأجزاء المحتوية على النواة بقدرتها على التوالد وتكوين تركيبات كاملة ولكن حتى الأجزاء غير المحتوية فانها تستطيع تكوين قاعدة وغطاء بشرط توفر كمية معقولة من السيتوبلازم ، ولعل هذا يوضح مدى إمكانية مكونات السيتوبلازم الأكثر ثباتاً (والتي يفترض أنها الحمض النووي RNA حامل الرسالة) في التحكم في عملية التوالد .

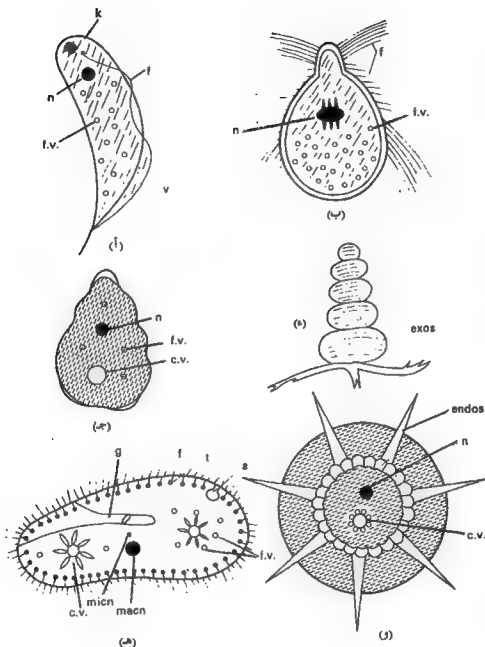
٣ - تتميز الطحالب بقدرتها على الحركة بواسطة الأسواط ، وفي حالة الطحالب التي تعيش في مستعمرات كبيرة مثل طحلب Volvox تتجمع خلاياه بأعداد تصل إلى 50000 مكونة تركيباً معقداً حيث تتميز حركة الأسواط بالتوافق المنتظم عبر خلايا المستعمرة بأكملها . ومن الناحية الأخرى يقال أن الدياتومات تتحرك بواسطة الدفع النفثي أو النافوري .

٤ - تحاط خلايا الطحالب بجدار خلوية سميك يتكون أساساً من السيلولوز على الرغم من وجود بعض المركبات الإضافية الأخرى مثل البكتين ، الزيلان ، كربونات الكالسيوم . ومن أكثر الجدر جمالاً الصدفة السليكونية التي تحيط بالدياتومات والتي تأخذ أشكالاً جمالية متعددة ، وتبقى مثل هذه الصدقات بعد موت الطحلب حيث تتركب مكونة ترسيبات حفيرية قد تصل في سمكها إلى 1000 m .

٥ - تتكاثر الطحالب جنسياً ولا جنسياً وقد تظهر دورات حياة بالغة التعقيد ، وحتى الآن قد تم وصف وتعريف مايزيد عن 17000 نوع من الطحالب يوضح الشكل (٣ - ٣) البعض منها .

البروتوزوا :

تعرف البروتوزوا ببساطة بأنها كائنات حيوانية وحيدة الخلية ، ولو أن مثل هذا التعريف لا يعد ذو فائدة كبيرة للباحثين في مجال الميكروبيولوجيا حيث قد يفضل القول بأنها مجموعة من الكائنات الحية الدقيقة وحيدة الخلية ذات نواه حقيقيه والتي تعتمد في تغذيتها على التقام الغذاء حيث لا تحاط خلاياها بجدر . ويوضح الشكل (٣ - ٤) بعض أمثلة البروتوزوا ، وفيما يلي عرض مبسط لبعض خصائص هذه الكائنات .



شكل ٣ - أ غاذج لبعض البروتوزوا ، (أ) بروتوزوا trypanosome (ب) Trichonympha (شكل أميبى) (ج) شكل أميبا Amoeba (د) أميبا Formaniferan (هـ) Paramoecium . حيث : n : قلب إخراجى ، C. v. فجوة مضغطة ، exos هيكل خارجى ، endos هيكل داخل ، F. v. فجوة غذائية ، f سوط ، g مريء ، k كيتيزوم ، m لم ، n نواة ، macn النوية الكبيرة ، mien النوية الصفراء ، ps قدم كاذب ، t ترايكوسست ، n غشاء متوج . (و) أميبا الراديرلاريا

١ - قد تستخدم نوعية الحركة في تقسيم البروتوزوا إلى عدة مجاميع رئيسية :

(أ) تعتبر الحركة الأميبية مميزة لمجموعة تعرف بالأميبيا *Amoeba* (شكل ٣ - ٤ ج) حيث يتدفق السيترولازم مكوناً قداماً كاذباً في اتجاه الحركة على الأسطح الصلبة وحيث يحدث انكماش للسطح المقابل للخلية .

(ب) تحدث الحركة بالأسواط بواسطة مجموعة من البروتوزوا تعرف بالسوطيات ، وبعضها كائنات خالية من الكلوروفيل مشابه لبعض أنواع الطحالب ، وقد تنشأ عن الفقد النهائي وغير الرجعي للبلاستيدات الخضراء التي تتميز باحتوائها على الحمض النووي DNA الخاص بها ، ولاشك أن مثل هذه العملية توضح الحدود الواهية بين المجموع الرئيسية للكائنات الحية حقيقية النواة . تحتوى بعض أنواع البروتوزوا على أسواط بسيطة التركيب في حين يحتوى البعض الآخر على أسواط غاية في التعقيد والترتيب كما هو الحال بالنسبة للجنس *Trichonympha* (شكل ٣ - ٤ ب) الذى يستمر القناة الهضمية للنمل الأبيض حيث تعمل على هضم السليولوز المتوفر في الخشب الذى تغذى عليه .

(ج) تتحرك مجموعة الهديات بواسطة أهداب تغطي معظم سطح الخلية ، وقد تتنازل الأهداب في التركيب مع الأسواط إلا أنها أقصر طولاً كما أن حركتها أكثر توافقاً بدرجة تسمح بتعاقب موجات الانضغاط .

٢ - تغذى البروتوزوا بواسطة التقام حبيبات الغذاء الصلبة مثل البكتريا وخلافه . ويؤدي مثل هذا الالتقام إلى تكون فجوات غذائية تحدث بداخلها عملية الهضم ، وفي النهاية تقذف الأجزاء غير المهضومة إلى الخارج .

وفي بعض أنواع البروتوزوا مثل مجموعة الأميبا لا تتواجد أماكن مميزة على سطح الخلية ، بينما في البعض الآخر كما هو الحال بالنسبة للسوطيات عادة ما يوجد « فم » لدخول الغذاء و« فتحة شرج » لخروج المخلفات (شكل ٣ - ٤) .

٣ - لانحاط البروتوزوا بجدار خلية ، إلا أن بعض أنواع الأميبا قد تحاط بتركيب صلب يعتبر كهيكل نظراً لأنه قد يوجد بالخارج أو بالداخل ، ولأحتوائه على ثقوب تسمح بمرور الغذاء الذى يتم التقامه . وقد تحاط بعض أنواع البروتوزوا البحرية (الفورامينيفرا) بهياكل خارجية متعددة الغرف تتكون من كربونات الكالسيوم

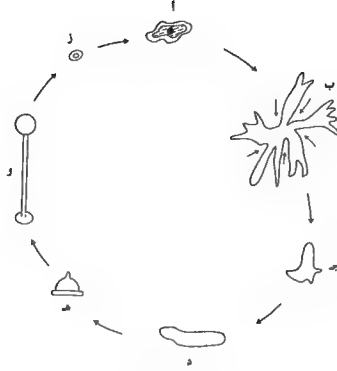
(شكل ٣ - ٤ د) والتي قد تشابه الدياتومات في ترسيبها على مر العصور والأحقاب الجيولوجية ، والبعض الآخر مثل الراديولاريا يوجد بها هياكل داخلية من السليكا أو من كبريتات الاسترانسيوم .

٤ - تتميز البروتوزوا بأن دور حياتها أكثر بساطة من الطحالب أو الفطريات ولكن هناك بعض الشواذ كما في حالة البروتوزوا المرضية (مثل الكائن المسبب لمرض الملاريا) .

٥ - تتميز البروتوزوا بدرجة عالية من التخصص الوظيفي تفوق في درجتها أقرانها من الكائنات الحية الدقيقة وحيدة الخلية . ومن أشهر الأمثلة على ذلك البرامسيوم *Paramecium* (شكل ٣ - ٤ هـ) حيث يحتوى على نظام متخصص للحصول على الغذاء يتكون من فم ومرىء ، فتحة شرج ، فجوات منضخطة ، أهداب على سطح الخلية بالإضافة إلى جهاز نووى معقد يتكون من نويات دقيقة ونويات كبيرة . ويبدو أن كائن مثل البرامسيوم يمثل أقصى ما يمكن الوصول إليه من تخصص وظيفي في الكائنات وحيدة الخلية والذي على إثره حدث التطور النشوى الأكثر فائدة بالنسبة للتخصص الوظيفي بين خلايا الكائنات الحية عديدة الخلايا لتتكون الأنسجة المختلفة .

الفطريات الهلامية :

تم إدراج هذه المجموعة من الكائنات الحية تحت مجموعة الفطريات وكذلك تحت البروتوزوا ، ولكن من الأفضل اعتبارها مجموعة مستقلة بذاتها . فهي عبارة عن كائنات حية حقيقية النواة ليس لها القدرة على القيام بعملية التمثيل الضوئى ، وتشابه مع البروتوزوا في طورها الخضري في حين تماثل الفطريات في مراحل نحرثها . تعيش هذه الكائنات على الأسطح النباتية المتحللة حيث تكون ألواناً زاهية وأجساماً ثمرية منمقة . وتنقسم هذه الكائنات إلى مجموعتين أساسيتين : الفطريات الهلامية الحلوية والتي يتكون طورها الخضري من خلية أميبية تستطيع التجمع مكونة بلازموديوم كاذب ، والفطريات الهلامية الغير خلوية حيث تكون خلية أميبية واحدة تنتج بلازموديوم متعدد الأنوية بحجم وشكل غير محدود ويتحرك على أسطح المواد التي يعيش عليها مبتلعاً حبيبات الغذاء التي تقابلها ، وتعتبر المجموعة الأخيرة من هذه الكائنات من أهم الكائنات الحية الدقيقة التي تستحوذ على قواد وإعجاب أدباء الخيال العلمى .



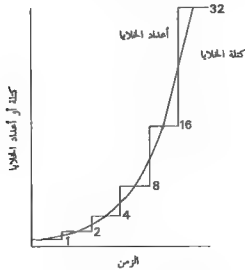
شكل ٣ - ٥ . دورة حياة الفطريات الغلامية الخلوية . خلايا أميبية بحرية (أ) تتجمع مع بعضها (ب) لتكوين بلازموديوم كاذب (جـ) الذي يأخذ في التحرك (د) مكوناً جسماً قوياً (هـ - و) ينتج جراثيم غير جنسية (ز) .

والآن دعنا نعرض لتاريخ حياة الفطريات الغلامية وحيدة الخلية (شكل ٣ - ٥) . تنغذى الأميبيا الخضرية على المواد الغذائية المختلفة ، وعند نفاذ مصدر الغذاء تتجمع الخلايا في بلازموديوم كاذب يساعد على تكونه إفراز مادة شبه هرمونية تسمى الاكرازين تعمل على اجتذاب الخلايا بواسطة الانجذاب الكيميائي ، ثم يتحرك البلازموديوم الكاذب في اتجاه الضوء كوحدة واحدة تحيط به طبقة مخاطية تشترك في إفرازها جميع الخلايا وذلك حتى تتوقف الحركة تماماً ، وعندئذ يحدث تمييز وظيفي حيث يتكون جسم ثمرى نتيجة لتكون غلاف سليولوزي بواسطة الخلايا الخارجية في حين تتحرك الخلايا الأخرى إلى أعلى خلال هذا الغلاف وعند وصولها إلى أعلى تتحول إلى جراثيم تنتشر في الوسط المحيط والتي على أثر إنباتها تستأنف دورة الحياة من جديد .

الفصل الرابع

نمو الكائنات الحية الدقيقة الخلوية

عند تكاثر الكائنات الحية الدقيقة وحيدة الخلية بالانقسام الثنائي البسيط تنمو الخلية الواحدة حتى يتضاعف حجمها ، ثم تنقسم عندئذ إلى جزئين متساويين يعاود كل منهما الانقسام مرة ثانية وهكذا . ويستمر النمو - الذى يمكن تعريفه بأنه الزيادة المنتظمة في جميع مكونات الخلية - طوال الوقت في حين أن التضاعف يحدث عند لحظة انقسام الخلية كما يتضح من الشكل (٤ - ١) الذى يبين نمو وتضاعف الخلية الواحدة ، ويمكن الحصول على نفس النتيجة عند انقسام مجموعات من الخلايا المتزامنة النمو (أنظر صفحة 52) . إلا أن الباحثين في مجال الميكروبيولوجيا عادة ما يتعاملون مع أعداد



شكل ٤ - ١ . نمو وتضاعف الخلية الوحيدة

هائلة من الخلايا ، فعلى سبيل المثال تحتوى المجموعة البكتيرية على 10^8 خلية ومعلق الخلايا فى البيئات السائلة التى تكاد تلاحظ بها عكارة يشتمل أيضا على 10^8 خلية/ سم³ كما أن المليلجرام الواحد من خلايا البكتريا الجافة ينتج عن 3×10^9 خلية . وفى وجود مثل هذه الأعداد الكبيرة نجد أن فرصة انقسام نسبه مئوية معينة من الخلايا فى وقت ما تتأثر مع فرصة حدوثها فى أى وقت آخر ، وعند توقع كل من النمو أو التضاعف مع الوقت على شكل منحنى يبان نجد أننا نحصل على نفس المنحنى ، وبمعنى آخر أن الخلايا فى المزارع الميكروبية تتضاعف بصورة غير متزامنة ، وعلى ذلك فإنه من الممكن اعتبار أن كل من النمو والتضاعف مرادفان لمعنى واحد حيث يمكن قياس أى منهما حسبا تقتضى الظروف العملية .

ولدراسة تضاعف الميكروبات لابد من تقدير عدد الخلايا فى البداية والذى يمكن الحصول عليه أما بطريقة مباشرة عن طريق استخدام شريجه العد تحت الميكروسكوب ولكن المشكلة التى تواجه استخدام هذه الطريقة هو عدم القدرة على التمييز بين الخلايا الحية والميتة ميكروسكوبيا ولعل ذلك يؤدى إلى مشكلة من نوع آخر ألا وهى متى يمكن اعتبار الخلية الميكروبية ميتة ؟ ولحسن الحظ فإن الإجابة على هذا السؤال بالنسبة لحياة الميكروبات لا تواجهها أية تحفظات فلسفية أو دينية مما يدفعنا إلى محاولة الإجابة على مثل هذا التساؤل . وفى الحقيقة فإنه من الناحية العملية يمكن اعتبار الخلية حية إذا كان لها القدرة على الاستمرار فى الانقسام ، فى حين أنها تصبح غير حية أو ميتة عند توقفها عن التضاعف . من ذلك يتضح عدم المقدرة على التمييز فيما بين الخلايا الحية والميتة عند الفحص الميكروسكوبى على الرغم من أن هناك بعض طرق الصبغ التى قد ترتبط بصورة أو بأخرى بحيوية الخلايا . وعلى هذا فيستخدم العد المباشر بواسطة الميكروسكوب للحصول على العدد الكلى للخلايا الحية والميتة . ويلزم لتقدير أعداد الخلايا الحية قياس مقدرتها على التضاعف ، ولعل هذا هو الأساس فى تقدير أعداد الخلايا الحية الذى يجرى عادة بنشر جزء معلوم من معلق الخلايا (مع تخفيفها إن تطلب الأمر) على سطح بيئة آجار مناسبة فى طبق بترى . وبعد فترة التحضين تنشأ كل مجموعة بكتيرية نتيجة لنمو خلية واحدة نشطة . وتعتبر هذه الطريقة هى أكثر الطرق حساسية فى تقدير نمو أو تضاعف الميكروبات نظراً لأن ما عداها من الطرق يتطلب وجود ملايين من الخلايا الميكروبية حتى تؤخذ القياسات بشئ من الدقة . ولسوء الحظ فإن تقدير أعداد الخلايا الحية يعد شاقا وفى كثير من الأحيان يكون إجراؤه غير ضرورى .

وهناك مجموعة من الطرق التى تستخدم فى تقدير نمو الخلايا بصورة منفصلة عن تضاعفها ، والتى من أهمها تقدير الوزن الجاف للخلايا ، تراكم بعض مكونات الخلية الأساسية ، الحجم الذى تشغله الخلايا ، أو مقدار نشاط عمليات التمثيل الغذائى . ويتوقف اختيار الطريقة المناسبة على الهدف من الدراسة التى تجرى . وعند الحاجة للتقدير السريع فإن أكثر الطرق كفاءة هى تقدير العكارة الناشئة بقياس الضوء المتشتت سواء مباشرة بواسطة جهاز النيفالومتر ، أو غير مباشرة بواسطة جهاز تقدير الطيف الضمء .

مزارع الدفعات للكائنات الحية الدقيقة (المزارع غير المستمرة)

لنستعرض الآن نمو الميكروبات عند قياسه بعد تلقى عدد قليل من الخلايا فى بيئة معقمة وملائمة . حيث نلاحظ أن النمو يتبع منحنى نموذجى يوضحه الشكل (٤ - ٢) مع تمييز أربعة أطوار أساسية .

١ - الطور التحضيرى :

وهى الفترة التى لا يلاحظ بها أى تضاعف للخلايا ، حيث أنها تتأقلم مع الوسط الغذائى الجديد . ويختلف طول هذه الفترة حيث تكون طويلة فعلا فى حالة ما إذا كان اللقاح مكون من خلايا قديمة أو تعرضت خلاياه لأى نوع من الضرر ، أو كانت منبأه سابقا فى بيئة غذائية مختلفة تماما . أما إذا ما كانت الخلايا الملقحة سريعة النمو ومأخوذة من بيئة ملائمة فإن فترة هذا الطور تكون قصيرة جدا قد يصعب التعرف عليها .

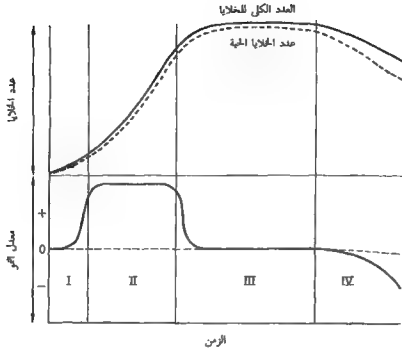
٢ - طور التضاعف الأسى :

حيث تنمو الخلايا بمعدل ثابت ، بمعنى أن مدة الجيل (وهى المدة المحصورة بين انقسامين متتاليين) تكون ثابتة ، ويؤدى ذلك إلى حدوث نمو الميكروبات — خاصة وحيدة الخلية — بمعدل ثابت مما ينتج عنه زيادة أسية فى كتلة وأعداد الخلايا (شكل ٤ - ٣) . وقد جرت العادة سابقا على تسمية هذه المرحلة بالطور اللوغارىتمى ولكن وجد أنه من المناسب أن يطلق عليه طور التضاعف الأسى والذى يتميز بحدوث زيادة بطيئة فى أعداد الخلايا يعقبها ارتفاع مفاجئ فى الأعداد . وهناك عدة ملاحظات عمليـه

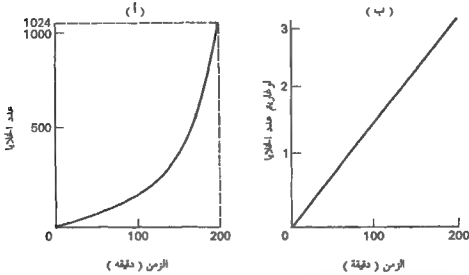
لمثل هذا النمو في الطبيعة ، فعلى سبيل المثال نجد أنه بعد حدوث العلوى بالميكروبات يسفر الميكروب المعدى فى الجسم المصاب مما يستلزم مضاعفة كفاءة أى وسيلة تستخدم فى مقاومة هذا الميكروب ويختلف معدل النمو الأسى اختلافا كبيرا ، حيث قد تصل مدة الجيل لبعض الميكروبات النامية على درجات الحرارة المرتفعة إلى حوالى عشرة دقائق فى حين أن بعض الميكروبات التابعة للخلايا حقيقية النواة قد تطول مدة الجيل إلى ٢٤ ساعة . ولكن لا يستمر طور التضاعف الأسى إلى ما لا نهاية . فإذا ما أخذنا فى الاعتبار إحدى الخلايا البكتيرية النموذجية التى تصل فى حجمها إلى واحد ميكرومتر مكعب والتى تنمو بكفاءة حيث تكون مدة الجيل عشرين دقيقة ، فكما يوضح الشكل (٤ - ٣) نجد أنه بعد مرور ثلاث ساعات ونصف (مائتين دقيقة) تزداد أعداد الخلايا بمعدل 1024 مرة أى بالتقريب ألف مرة ، وذلك يعنى أن طوال مدة طور التضاعف الأسى تزداد أعداد الخلايا بمعدل ألف مرة كل ثلاث ساعات ونصف ونتيجة ذلك يوضحها الجدول التالى :

الزمن (ساعة)	عدد الخلايا	حجم الخلايا
صفر	1	واحد ميكرومتر مكعب $1 \mu m^3$
31	10^3	
63	10^6	
10	10^9	واحد ملليمتر مكعب $1 mm^3$
20	10^{18}	واحد متر مكعب $1 m^3$
30	10^{27}	واحد كيلو متر مكعب $1 km^3$
40	10^{36}	الف كيلو متر مكعب $1,000 km^3$
50	10^{45}	مليون كيلو متر مكعب $1,000,000 km^3$

بعد مرور خمسين ساعة من التحضين تصل الخلايا فى حجمها إلى ما يفوق الكرة الأرضية بأكملها ، ولعل ذلك يوضح مدى كفاءة وإمكانات النمو الأسى للميكروبات . ولكن من الواضح أن ذلك لا يحدث فى الحقيقة حيث لابد وأن يتوقف النمو لسبب أو لآخر مثل نقص الغذاء أو على وجه التحديد نقص أحد العناصر الغذائية



(شكل ٧ - ٤) منحنى نمو المزارع غير المستمرة . يمثل الجزء العلوي من المنحنى أعداد الخلايا والجزء الأسفل معدل النمو . II الطور الابتدائي ، II طور التضاعف الأسي ، III طور السكون ، IV طور الموت .



(شكل ٣ - ٤) تضاعف الكائنات الحية الباقية الوحيدة الخلية عدد ما تكون فترة الجيل عشرين دقيقة حيث يأخذ النمو خطاً مستقيماً عدد استخدام رسم بياني نصف لوغاريتمي (ب)

الأساسية للنمو والتي تستنفذ تماما من الوسط الغذائي والذي على أثره يتوقف نمو الخلايا وتدخل في طور السكون . وقد يكون من الأسباب الأخرى التي تضع حدا لتضاعف الخلايا الأسى تراكم نواتج التمثيل الغذائي السامة . فعلى سبيل المثال تنتج الخمائر الكحول نتيجة لعمليات التخمر التي تقوم بها وعند وصول تركيزه إلى 10% يعمل على إيقاف نمو الخلايا بل موتها أحيانا . والنتيجة العملية لذلك أنه لا يمكن إنتاج نبيذ يحتوي على كحول بنسبة تفوق 14% ولرفع نسبة الكحول عن ذلك فلا بد من إجراء عمليات التقطير .

٣ - طور السكون : تظل أعداد الخلايا ثابتة خلال هذا الطور والذي قد ينشأ نتيجة للاتزان فيما بين كل من تضاعف الخلايا وموتها الناشئ عن تراكم نواتج التمثيل الغذائي السامة . إلا أن دخول الخلايا في هذه المرحلة لا يعزى عادة إلى أى من النمو أو الموت وحده . وتتوقف طول فترة هذا الطور على نوعية المسبب الذي يعمل على وقف النمو وكذلك على نوع الميكروب وقد تتفاوت مدته من عدة دقائق إلى ساعات وأيام بل أسابيع .

٤ - طور الهبوط : تبدأ الخلايا في الموت خلال هذا الطور ونتيجة لذلك يكون هناك فرق كبير بين العدد الكلى للميكروبات وعدد الخلايا الحية (شكل ٤ - ٢) ومع بداية موت الخلايا نجد أنه يحدث لها عملية تحلل وهو ما يطلق عليه بعملية التحلل الذاتي . وهذا التحلل الذاتي قد يكون له بعض النتائج الهامة ، فإذا ما تركت المزارع المعملية لتدخل طور الهبوط بحيث يحدث تحلل لنسبة معقولة من الخلايا فإن الخلايا المتبقية قد تصبح قادرة على النمو على نواتج الخلايا المتحللة وهذه الظاهرة تعرف بالوحشية الذاتية . ويستمر هذا النمو لفترة قصيرة ثم تدخل الخلايا في طور الهبوط ثانية وتتكرر العملية إلى أن تختفي الخلايا جميعها . وبهذه الطريقة نجد أن الخلايا قد تبقى على حالة حية لمدة طويلة ولكن يجب الإشارة إلى أننا بذلك نعمل على انتخاب وانتقاء الخلايا المتبقية في المزرعة والتي تتميز بأنها لا تتحلل بسهولة أو تلك الأقدر على التغذية على نواتج تحلل الخلايا الأخرى .

المزارع المستمرة للكائنات الحية الدقيقة :

استعرضنا فيما سبق المزارع غير المستمرة للكائنات الحية الدقيقة ، حيث يتم النمو في وعاء ثابت الأبعاد ثم بعد فترة معينة تتوقف الخلايا عن النمو . ولكن السؤال الذى يطرح

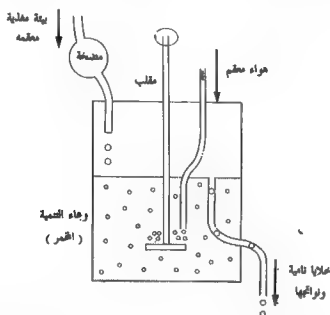
نفسه أليس من الممكن تصميم جهاز يسمح بنمو الخلايا بصورة مستمرة نتيجة لإضافات متجددة من البيئة الغذائية ، والسحب الدائم للخلايا النامية ومنتجاتها ؟ ومن المدهش حقا أنه لم تبدأ أية أبحاث تتعلق بهذا الخصوص حتى الأربعينات من هذا القرن . وقد أحرز الكثير من التقدم فقط عند البحث عن أفضل طرق التنمية لإنتاج خلايا لاستخدامها في الحرب الميكروبية (أو كما قيل لنا آنذاك للدفاع ضد الحرب الميكروبية) .

ولقد أطلق على مثل هذه الطريقة بالتنمية المستمرة للميكروبات . ويعتبر الكيموستات هو أكثر الأجهزة المستخدمة شيوعا كما هو موضح بالشكل (٤ - ٤) حيث يتميز بالبساطة ، وتعتمد فكرته على ضخ بيئة غذائية باستمرار في وعاء التنمية ، وذلك بمعدل ثابت في نفس الوقت الذي تراح فيه الخلايا ومنتجاتها بمعدل متاثل وذلك مع استمرار التقليب الميكانيكي لمزج البيئة المضافة جيدا مع المزرعة الميكروبية والذي يساعد أيضا على التهوية ، كما قد يزود الجهاز بوحدات لأخذ العينات الدورية وضبط درجة الحموضة والحرارة ، وتضاف مواد تحد من تكون الرغوى المتزايدة في المزرعة . ويمكن تنظيم معدل النمو في مثل هذه الأجهزة بالتحكم في معدل إضافة البيئة الغذائية مع إمكانية التغيير في مكونات البيئة الغذائية المستخدمة للحصول على مستويات منتظمة ومتوازنة من العناصر الغذائية . وعلى الرغم من الاستخدام الواسع لمزارع الدفعات لتنمية الكائنات الحية الدقيقة في كل من المعامل والمصانع إلا أن للمزارع المستمرة مميزات فريدة يمكن تلخيصها فيما يلي :

١ - يمكن الحصول على النمو الخلوى طوال الوقت ومن يوم لآخر وذلك فور الدخول بالنمو إلى مرحلة الثبات ، وهذا ما لا يمكن تحقيقه بسهولة في حالة مزارع الدفعات نظرا للتغير السريع في الظروف البيئية السائدة في المزرعة . وهى الحقيقة التى لايقدرها العديد من المشتغلين في مجال الميكروبيولوجيا .

٢ - بمجرد انتظام المزرعة المستمرة في العمل يمكنها الاستمرار في ذلك لعدة شهور شريطة حفظ الظروف معقمة وذلك إما بمنع حدوث أى تلوث الخارجى أو توفير ظروف مزرعية تحد من نمو الميكروبات غير المرغوب فيها . وقد أدت مثل هذه الميزة مع صغر حجم الجهاز المستخدم بالمقارنة بالأدوات المستخدمة في تنمية كميات مماثلة من الخلايا بواسطة مزارع الدفعات إلى التوسع في استخدام طرق التنمية المستمرة بكفاءة في الصناعة لتنمية الميكروبات أو لإنتاج العديد من نواتجها المختلفة .

٣ - تعتبر التنمية المستمرة أقرب ما يمكن للنمو الميكروبي في الطبيعة . فعلى سبيل المثال نجد أن كرش الحيوانات المجتره مثال جيد لنظام المزرعة المستمرة (صفحة 148) . ومع ذلك فإنه من المنصف أن ننظر إلى النمو الميكروبي بصفة عامة في الطبيعة مشتملا على مبادئ كل من التنمية المستمرة ومزارع الدفعات . وعلى هذا فإن نمو البكتريا في أمعاء الانسان قد تتأثر مع نظامي التنمية في دفعات والمزارع المستمرة حيث يتوقف ذلك على تكرارية الامداد بالغذاء ، نوعية الغذاء وانتظام عملية الإخراج ، وعموما فإنه يجب دراسة وتحليل كل نظام بيئي في الطبيعة بناء على الظروف المحيطة به والحيلولة دون تبسيطه والحكم السريع بمطابقته لأى من المزارع المستمرة أو مزارع الدفعات .



(شكل ٤ - ٤) جهاز يستخدم ل التنمية المستمرة للكائنات الحية النقية المبرائة . يحوى الجهاز على الرضم من عدم وضوح ذلك بالرسم على وحدات التحكم في درجة الحرارة والحموضة والحد من الرضاوى المتكونة

النمو الميكروبي المتزامن :

تحتوى المزرعة الميكروبية النامية على خلايا تنقسم في أوقات مختلفة وغير متماثلة ، ولكن زاد الاهتمام حديثاً بدراسة مراحل دورة النمو للخلية أى معرفة مايمتد في الفترة المحصورة بين كل انقسامين متتالين . ولقد وجد أنه من الصعب استخدام طرق التحليل البيوكيميائية المختلفة في دراسة خلية ميكروبية واحدة مما يستلزم تتبع ما يحدث من

النواحي الفسيولوجية المختلفة لمزرعة ميكروبية متزامنة حيث تنقسم جميع الخلايا في وقت واحد تقريبا . وهناك مجموعتان عامتان من الطرق للحصول على المزارع المتزامنة :

١ - طريقة ضبط طور النمو : وتعتمد هذه الطرق على التأثير المفاجيء لأحد الظروف البيئية في المزرعة مثل : درجة الحرارة أو تركيز العناصر الغذائية أو الضوء ، وذلك للعمل على إحداث التزامن للمزارع الميكروبية خلال طور التضاعف الأسى .

٢ - طرق الانتقاء : حيث يتم الفصل الميكانيكى فيما بين الخلايا النامية أثناء مرحلة الطور الأسى وذلك عند نقطة معينة أثناء دورة النمو . فعلى سبيل المثال يستخدم الطرد المركزى التفريقى لفصل الخلايا الصغيرة الموجودة في مزرعة ميكروبية على افتراض أن هذه الخلايا الصغيرة قد خرجت لتوها من عملية الانقسام في حين تعتمد طرق أخرى على الترشيح أو الادمصاص الانتقائى لبعض الخلايا على أسطح معينة . وتفضل طرق الانتقاء المختلفة على الطريقة السابقة التى تعتمد على اختيار أحد أطوار النمو نظراً لأنها قد تعمل على اضطراب عمليات التمثيل الغذائى بداخل الخلية التى تؤدى بدورها إلى إنتاج خلايا غير طبيعية .

الاحتياجات المختلفة للنمو الميكروبي :

يتضح مما سبق أن النمو الميكروبي قد يكون سريعاً للغاية ، وعلى هذا فمن أجل الحفاظ على هذه المعدلات العالية من النمو فإنه يلزم التحكم بدقة في بعض العوامل البيئية ذات الطبيعة الفيزيائية والكيميائية والعمل على تفهمها بقدر الإمكان . فأول ما يلزم توفره هو المواد الغذائية المناسبة في الوسط المحيط حيث تمد الكائنات الحية الدقيقة بما يلزمها من الطاقة ومواد البناء ، والتي سوف نتحدث عنها بالتفصيل في الفصل السابع ، وثانياً لا بد وأن تكون الظروف الفيزيائية والكيميائية ملائمة للنمو وتؤخذ في عين الاعتبار .

الماء :

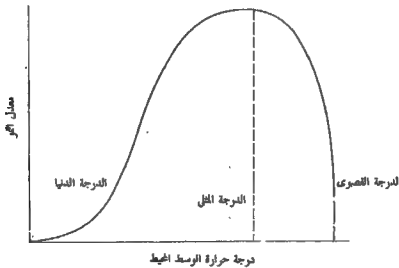
يكون الماء مايزيد عن ٨٠٪ من وزن الخلية الميكروبية ، ويعتبر ضروري للغاية إذا أخذ في الاعتبار على أنه عنصر غذائى . هذا بالإضافة إلى أن معظم الكائنات الحية الدقيقة تحصل على غذائها في صورة ذائبة ، ولو أنه قد توجد بعض الكائنات حقيقية النواة التى يمكنها استخلاص احتياجاتها المائية من الهواء مباشرة كما هو الحال بالنسبة للكائنات

المستولة عن تحلل وتلف المواد الطبيعية مثل السليولوز والصوف والجلد في المناطق الاستوائية . ولهذا فإن الأغذية عند تجفيفها يمكنها البقاء الممد طويلة دون تلف إذا ما حفظت بعيدا عن الهواء الرطب . وقد تم استغلال ذلك كأحدى طرق حفظ الأغذية .

وهنا يلزم التأكيد على أن الظروف البيئية التي تشجع النمو ليس بالضرورة هي نفس الظروف التي تسمح ببقاء الكائنات الحية الدقيقة على حالة حية . وعلى هذا فإن العديد من الكائنات الحية الدقيقة يمكنها البقاء حية ومقاومة للجفاف خاصة إذا ما حدث مثل هذا الجفاف عند درجات الحرارة المنخفضة . فعلى سبيل المثال يمكن حفظ الميكروبات بواسطة طريقة التجفيف عند درجة حرارة التجميد (التجفيد) ، حيث يتم تجميد معلق الخلايا بسرعة ثم يجفف بواسطة تصعيد المياه وتساميتها تحت تفريغ كبير . وبمجرد تحمل الميكروب للجفاف فإنه يبقى حيا على هذه الحالة لفترات طويلة جدا من الزمن .

الحرارة :

تعتبر الحرارة من أهم العوامل البيئية التي تؤثر على معدلات النمو الميكروبي . وكما يوضح الشكل (٤ - ٥) فإن هناك حد أدنى والذي أدناه يتوقف النمو ، ومع ارتفاع درجة الحرارة عن هذا الحد تدريجيا يزداد معدل النمو بما يتماشى مع القوانين العامة التي



(شكل ٤ - ٥) تأثير درجة الحرارة على معدل نمو الكائنات الحية الدقيقة

تنظم تأثير الحرارة على التفاعلات الكيميائية خاصة الانزيمات المسؤولة عن النمو . ومع ذلك فإن النمو يصل إلى النقطة التي عندها يكون هناك زيادة شديدة في معدلات تثبيط مكونات الخلية الحساسة للحرارة مثل الأنزيمات والريبوزومات والحمض النووي DNA وأغشية الخلية . حيث نجد أن ارتفاع الحرارة عن درجة الحرارة المثل يعمل على التغير السريع في الصفات الطبيعية لمكونات الخلية مما يؤدي في نفس الوقت إلى انخفاض معدل النمو .

وتستطيع غالبية الكائنات الحية الدقيقة النمو في مجال حرارى ينحصر بين 20-30° . ويبدو أن مكونات الخلية وتمثيلها الغذائى وأجهزة التحكم بها تعمل بكفاءة عند درجات الحرارة هذه ، وذلك على الرغم من الاختلافات الشديدة في درجات الحرارة الدنيا والمثل والعظمى . وتتحصر درجة الحرارة المثل لمعظم الكائنات الحية الدقيقة بين 20 إلى 40 وتطلق على هذه الكائنات الحية الدقيقة اسم وسطية الحرارة في حين أن الكائنات الأخرى التى تستوطن مناطق باردة كما هو الحال في القطب الشمالى يمكنها أن تنمو على درجات حرارة أكثر انخفاضاً ، وحيث يوجد أعداد كبيرة من الكائنات الحية الدقيقة على السطح في مثل هذه المناطق الثلجية بحيث قد تغطي ثمرات خضراء أو حمراء اللون وتعرف مثل هذه الكائنات بالحبية للبرودة ، وهذه قد تسبب فساد الأغذية المحفوظة في المبردات على درجات الحرارة المنخفضة فترات طويلة ، على الرغم من عدم إفراز هذه الميكروبات للسموم الغذائية . وهناك مجموعة من الكائنات الحية الدقيقة الأخرى يطلق عليها الكائنات المحبة للحرارة والتي يمكنها المعيشة في أماكن مثل الناييع الساخنة أو كومات السماد ، حيث تستطيع هذه الميكروبات النمو على درجات حرارة مرتفعة تصل إلى 80-90° والتي عندها تموت غالبية الكائنات الحية الأخرى . وغير مفهوم حتى الآن كيفية نمو هذه الميكروبات على درجات الحرارة المرتفعة — خاصة بالنسبة للخلايا الخضرية النامية وليس للجراثيم — حيث تعمل درجات الحرارة المرتفعة على إيقاف نمو ونشاط مكونات الخلية الأساسية . وقد يفسر ذلك بناء على التأثير المزدوج الناشئ عن ثبات مكونات الخلية العديدة وكفاءة جهاز إصلاح مكونات الخلية المتأثرة بدرجات الحرارة المرتفعة .

وهنا يلزم التفرقة بوضوح فيما بين كل من النمو والقدرة على البقاء ، فعلى الرغم من أن غالبية الكائنات الحية الدقيقة تقتل بسرعة على درجات الحرارة التى تتجاوز درجة الحرارة العظمى اللازمة للنمو إلا أنها لاقتل بالضرورة عند درجات الحرارة المنخفضة

عن درجة الحرارة الدنيا ، ولا شك أن مقدرة الغالبية العظمى من البكتريا على المقاومة والبقاء حيه على درجة حرارة التتروجين السائل تعتبر أكثر الطرق شيوعا في حفظ المزارع الميكروبية ، حيث يعرض معلق من الخلايا الميكروبية لدرجات الحرارة الشديدة الانخفاض في حيز معد لذلك .

رقم الحموضة (pH) :

كما هو الحال بالنسبة لدرجة الحرارة نجد أن مجال تركيز أيون الايدروجين الذى يمكن للميكروبات النمو عنده يختلف اختلافا كبيرا على الرغم من أن بعض الأنواع تستطيع النمو في مجال يشتمل على أربع وحدات كاملة من رقم الحموضة . تنمو غالبية الكائنات الحية الدقيقة عند أرقام حموضة قريبة من التعادل ، حيث تفضل البكتريا الاتجاه قليلا صوب القلوية أما الطحالب والفطريات فتميل إلى الجانب الحامض . ومع ذلك فهناك بعض الميكروبات التى يمكنها النمو عند أرقام حموضة منخفضة أو مرتفعة للغاية . فعلى سبيل المثال نجد أن بعض أنواع البكتريا التى تحصل على الطاقة اللازمة لها عن طريق أكسدة مركبات الكبريت غير العضوية وتحولها إلى حامض الكبريتيك تستطيع النمو عند رقم حموضة منخفض جدا قريب من الصفر (أى محلول عيارى من حمض الكبريتيك) . وأنواع أخرى من البكتريا التى تصيب المسالك البولية للانسان يمكنها تحليل اليوريا منتجة الأمونيا التى تعمل على ارتفاع رقم الحموضة حيث تستطيع هذه البكتريا النمو عند pH 11 .

وتستغل عدم مقدرة الغالبية العظمى من الميكروبات النمو عند أرقام حموضة منخفضة (3-4 pH) في التصنيع الغذائى كما هو الحال بالنسبة للمخللات التى تعتبر من إحدى طرق حفظ الغذاء الشائعة ، كما أن حامض الخليك في صورة الخل الذى يضاف للأغذية أو الأحماض التى تنتجها البكتريا بفعل التخمر تعمل على خفض رقم الحموضة .

الأكسجين وجهد الأكسدة الاختزال :

تقسم الكائنات الحية تبعا لاحتياجها للأكسجين إلى ثلاثة مجاميع (جدول ٤ - ١) . وأساس هذه الاختلافات والتمييز فيها يعتمد على طبيعة عمليات إنتاج الطاقة والتى يمكن تلخيصها كما يلي :

١ - تحتاج بعض الكائنات الحية الدقيقة إلى الأكسجين كمستقبل نهائى

للالكترونات أثناء عملية الأكسدة (انظر صفحة 101) . وإذا كانت هذه هي الطريقة الوحيدة التي يحصل بها الميكروب على الطاقة فإن الميكروب يعرف بأنه هوائى حتما ، وتكون النتيجة مماثلة في حالة تحليل مصادر الكربون والطاقة مثل المركبات الهيدروكربونية التي تحتاج إلى دخول ذرة أكسجين أو أكثر إلى الجزيء .

جدول ٤ - ١ . تأثير الأكسجين على نمو الكائنات الحية الدقيقة

درجة النمو في			
غياب الأكسجين	تركيز منخفض من الأكسجين	وجود الهواء	
-	+	++++	كائنات هوائية حتما
++	++	++++ (أو ++)	كائنات لاهوائية اختياريا
++	-	-	كائنات لاهوائية حتما

٢ - إذا ما استطاعت الكائنات الحية الدقيقة الحصول على الطاقة في غياب وفي وجود الأكسجين فإنه يطلق عليها بأنها لاهوائية اختياريا ، وفي هذه الحالة يفوق النمو تحت الظروف الهوائية ما يحدث تحت الظروف اللاهوائية .

٣ - تقوم الكائنات اللاهوائية حتما بتفاعلات إنتاج الطاقة دون الحاجة للأكسجين والذي يعتبر ساما في حد ذاته .

وكما هو متوقع نجد أن الميكروبات سواء كانت هوائية أو لاهوائية ترتبط بطبيعة الوسط البيئي الذي تعيش فيه . وعلى هذا فإن البكتريا المنتجة للميثان تعتبر لاهوائية حتما حيث تعيش في أوساط بيئية مثل مؤخرة القناة الهضمية للحيوانات . ومن ناحية أخرى نجد أن البكتريا المستهلكة للميثان هوائية حتما مما يستلزم وجودها في أوساط بيئية تتوفر بها الأكسجين بالإضافة إلى الميثان الناتج عن فعل البكتريا المنتجة للميثان الموجودة في مواقع لاهوائية قريبة منها . ونتيجة لذلك نجد أن البكتريا المنتجة للميثان تعيش في المناطق السفلى في حين أن البكتريا المستهلكة له تتواجد في الطبقات الأعلى .

الضغط الأسموزى :

تستطيع أغلب الميكروبات النمو فى أوساط بيئية ذات مجال واسع من الضغط الاسموزى . وتعزى مقدرة الخلايا الميكروبية على مقاومة الضغوط الاسموزية المنخفضة أما لصلاية جدار الخلية من الناحية الميكانيكية أو لوجود طرق خاصة للتخلص من المياه الزائدة خارج الخلية كما هو الحال بالنسبة للفجوات المنضغطة . إلا أن هناك حد أقصى لمقاومة الضغوط الأسموزية المرتفعة ، ونمو الميكروبات ومعيشتها فى مثل هذه الأوساط البيئية كالبحيرات المالحة والمحيطات لا يتم إلا بواسطة أنواع تسمى بالميكروبات المحبة للضغوط الأمحورية المرتفعة أو المحبة للملوحة . ولكن لا تستطيع الغالبية العظمى من الكائنات الحية الدقيقة النمو فى مثل هذه الظروف لذا يستغل ذلك كإحدى طرق حفظ الأغذية بواسطة إضافة الملح والسكر .

الضغط الهيدروستاتيكي :

يعتبر قاع المحيطات من الأوساط البيئية الطبيعية التى يتواجد بها ضغطاً هيدروستاتيكياً عالياً يعمل على تثبيط نمو غالبية الكائنات الحية الدقيقة ، حيث قد يصل هذا الضغط إلى ما يفوق آلاف المرات الضغوط الموجودة على السطح . ويطلق على الكائنات التى تعيش فى مثل هذه الظروف بالكائنات الحية الدقيقة المحبة للضغوط الهيدروستاتيكية والتى لايعرف عنها الكثير حيث أنها لاتنمو فى ظل الضغوط الجوية العادية ، ويلزم توفر أجهزة معينة لتجميع هذه الميكروبات وعزلها وتميئتها للدراسة .

الإشعاع :

تقتل الغالبية العظمى من الكائنات الحية الدقيقة بفعل الجرعات العالية من الأشعة الكهرومغناطيسية خاصة فى مجال الأشعة فوق بنفسجية أو بفعل الجرعات الصغيرة من الأشعة المؤينة ، ويحدث الموت نتيجة لتدمير جزئيات الحمض النووى DNA . وقد تعزى مقدرة الميكروبات المختلفة على مقاومة التأثير القاتل للإشعاع إلى مدى كفاءة جهاز الإصلاح بالخلية للحمض النووى الذى يتم تدميره .

ويعتبر الضوء العادى ضرورياً لنمو الكائنات الحية الدقيقة التى لها القدرة على التمثيل الضوئى حيث أنه يعتبر مصدراً للطاقة ، ومثل هذه الكائنات مزودة بأجهزة معينة تمكنها من التغلب على التأثير الضار لمثل هذه الأشعة .

اعتبارات عامة :

والآن ماهو أهم ما نستخلصه بالنسبة للتأثيرات المتباينة للظروف الفسيولوجية والكيميائية على نمو الميكروبات ؟ والإجابة على ذلك تشتمل على ثلاث نقاط أساسية تطرح نفسها :

١ - إن الميكروبات بأنواعها المختلفة تتميز باتساع مجال الظروف البيئية التي يمكنها النمو في ظلها . ويعتبر هذا المجال أكثر اتساعا بالنسبة للكائنات الحية البدائية النواة بالمقارنة بالكائنات الأخرى حقيقية النواة كما هو الحال عند مقارنة الكائنات الحية الدقيقة بالخلايا النباتية أو الحيوانية . وقد يرجع اتساع هذا المجال أما إلى أن حساسية أجهزة الخلية أقل أو لمقدرتها الكبيرة على المقاومة والتحكم في وجود الظروف البيئية المعاكسة .

ويعتبر كلا التفسيرين قائمان . وعلى هذا فإن مقدرة الخلية على النمو في ظل مجال حرارى واسع لابد وأن يعزى إلى الاختلاف في درجة حساسيتها في حين أن النمو عند أرقام حموضة متعددة قد يرجع إلى مقدرة الخلية على تنظيم رقم الحموضة الخاص بالسيترولازم وجعله دائما قريبا من درجة التعادل .

٢ - تظهر المملكة الميكروبية بصفة عامة قدرة غير عادية على شغل الأوساط البيئية المعاكسة والبالغة القسوة ويتضح ذلك على وجه الخصوص بالنسبة للكائنات الحية بدائية النواة . فعلى سبيل المثال نجد أن الظروف البيئية البالغة القسوة والسائدة في البحر الميت أو بالقرب من البنايع الساخنة لا تحول دون نمو الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة في نفس الوقت الذى تختفى فيه تماما الكائنات الحية الأخرى حقيقية النواة . وبذلك نجد أن استعمار الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة لمثل هذه الأوساط يتميز بعدم منافسة أى أنواع أخرى من الكائنات الحية في الحصول على الغذاء . ويفترض أن بساطة تركيب خلايا الكائنات الحية الدقيقة هو الذى يمكنها من التأقلم أو نظرا لمقدرة جهازها الوراثى على التغير والتطور . ومن الناحية الأخرى نجد أن الخلايا حقيقية النواة تعتبر أكثر ملائمة للتطور في اتجاه تكوين صور حية أخرى أكثر تخصصا وتعقيدا .

وتعتبر مقدرة الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة في التأقلم من ناحية الصفات المظهرية أو الوراثية هاما عند استخدامها في الأبحاث البيولوجية الأساسية ، كما أنها ساعدت على تفهم نظم التحكم في الخلية كما هيأت للباحثين اختيار كائنات حية ذات صفات وراثية معينة تتمشى مع احتياجاتهم . ولهذا عند الرغبة في دراسة ميكانيكية

إصلاح الحمض النووي DNA في الخلية فإنه من المنطقي أن تجرى على إحدى الكائنات الحية التي تتمتع بوجود مثل هذا النظام في صورة متطورة كما هو الحال بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة بصفة عامة .

٣ - وفي الختام تعتبر دراسة تأثير الوسط المحيط على نمو الميكروبات ذات فائدة بالغة بالنسبة للصناعات الغذائية ، فقد شاهدنا إمكانية استخدام بعض الظروف العاكسة والبالغة القسوة في حفظ الغذاء وحيث يفضل اختيار الطريقة المستخدمة بناء على نوعية الغذاء المراد حفظه .

نمو الفيروسات :

تختلف الفيروسات اختلافا كبيرا في طبيعة نموها وتكاثرها عن الكائنات الخلوية ، ونظراً لأنه من الأسهل تفهم ذلك من خلال علاقته بميكانيكية التمثيل الحيوي للعائل فإننا سوف نتناول ذلك بالتفصيل في الفصل السادس .

الفصل الخامس

التمثيل الغذائي وتغذية الكائنات الحية الدقيقة

من أهم خصائص الكائنات الحية الدقيقة ارتفاع معدلات نموها ، حيث تبلغ مدة الجيل للكثير منها ما يقل عن ٣٠ دقيقة ، مما يسلمزم مقدرة فائقة على تخليق مكونات خلاياها خلال هذه الفترة الوجيزة . ولكي يتم ذلك لابد وأن يقابله حدوث عمليات التمثيل الغذائي بمعدلات مرتفعة جدا . وفي الواقع توجد علاقة عكسية بين معدلات التمثيل الغذائي أو النمو وحجم الكائن الحي ، فإذا ما أخذنا على سبيل المثال معدل استهلاك الأكسجين بالنسبة لوحدة الكتلة الحية كمقياس لإنتاج الطاقة بواسطة الكائنات الهوائية ، واعتبر الإنسان كوحدة واحدة للمقارنة فإننا نحصل على المستويات التالية :

الفيل	الانسان	الفأر	الكائنات الحية الدقيقة	
			حقيقية النواة	بدائية النواة
0.2	1.0	10	100	1000

والسؤال الآن هو كيفية الوصول إلى هذه المعدلات المرتفعة من التمثيل الغذائي الميكروبي ؟ من أهم العوامل المحددة لهذا امتصاص العناصر الغذائية والتخلص من المخلفات الناتجة حيث تم كل منهما على سطح الخلية . وكلما صغر حجم الكائن الحي

كلما ازدادت نسبة مساحة السطح إلى الحجم أو الكتلة الحية ؛ مما يساعد على ارتفاع معدلات التمثيل الغذائي ، ويمكن توضيح ذلك بالمثالين التاليين :

(أ) في حالة انسان وزنة 220 رطل

$$\frac{\text{مساحة السطح}}{\text{الكتلة}} = \frac{24000 \text{ سم}^2}{10\,000 \text{ جم}} = 2.4 \text{ سم}^2 / \text{جم}$$

(ب) في حالة خلية بكتيرية نموذجية

$$\frac{\text{مساحة السطح}}{\text{الكتلة}} = \frac{1 \times 10^{-7} \text{ سم}^2}{2 \times 10^{-12} \text{ جم}} = 50000 \text{ سم}^2 / \text{جم}$$

وبطبيعة الحال نحدد أن الكائنات الحية الراقية مزودة ببعض الأجهزة المتخصصة ، والتي تعمل على ازدياد مساحة السطح مثل الأمعاء ، الرئة ، الكلية ، الدورة الدموية ولكننا نحدد أن الكائنات الحية الدقيقة تتمتع بصغر حجمها كما أنها تعمل على زيادة مساحة سطحها بدرجة كبيرة عن طريق الانغمادات والانثناءات في الغشاء السيتوبلازمي (صفحة 31) .

ولم يعرف الكثير عن التمثيل الغذائي الميكروبي إلا حديثاً وذلك لعدة أسباب منها : أن المشتغلين في مجال الميكروبيولوجيا في الأربعينات من هذا القرن كانوا يجهلون الكثير عن الكيمياء الحيوية ، وكذلك لعدم إلمام الباحثين في مجال الكيمياء الحيوية آنذاك بعلم الميكروبيولوجيا ، والسبب الآخر هو صعوبة الحصول على مستخلص الخلايا البكتيرية والخالي من الخلايا ذاتها ، وذلك لصغر حجم الخلايا ، أو لصلاصة جدار الخلايا وحيث يصعب دراسة مسارات التمثيل الغذائي المختلفة في الخلايا الميكروبية نفسها ، ولكن بعد ذلك تفتحت الظروف تدريجياً حيث حدث تقدم ملحوظ في مجالات البيولوجيا المختلفة بالإضافة إلى إمكانية التوصل إلى العديد من الطرق المستخدمة في تفسير الخلايا الميكروبية مع حدوث أقل الأضرار الممكنة بالنسبة للنشاط الحيوي لمكونات الخلية . وعندئذ يتقن علماء البيولوجي أن الكائنات الحية الدقيقة تعتبر من أكثر الكائنات الحية ملائمة لدراسة المبادئ الأساسية في مجال الكيمياء الحيوية والبيولوجيا الجزيئية ، فنحن الآن نعرف الكثير عن بيوكيميائية بكتريا *Escherichia coli* بدرجة تفوق ما نعرفه عن أى من الكائنات الحية الأخرى .

التركيب الكيميائي للكائنات الحية الدقيقة :

قبل أن نعرض للتمثيل الغذائي الميكروبي فإنه يبدو ضروريا التعرف على النواتج النهائية لهذا التمثيل ، أى معرفة المكونات الكيميائية التى تتكون منها الخلية الميكروبية والتى يوضحها جدول ١ - ٥ . فى نفس الوقت لا بد وأن ندرك بوضوح أن هناك اختلافات كبيرة فى التركيب الكيميائي بين المجاميع المختلفة من الكائنات الحية الدقيقة ، بل توجد اختلافات فيما بين خلايا الكائن الحى الواحد عند نموه تحت ظروف بيئية مختلفة . وفيما يلى أمثلة لبعض هذه الاختلافات .

جدول ١ - ٥ المكونات الأساسية لخلية ميكروبية نموذجية
(كنسبة مئوية من الوزن الجاف)

مركبات أخرى	السكريات الببتيدية	الليبيدات	السكريات العديدة	الأحماض النووية	البروتين	
10	10	10	10	10	50	الكائنات الحية بدائية النواة
15	-	15	15	5	0	الكائنات الحية حقيقية النواة
	أحماض أمينية	—	نوكليوتيدات سكرية	أحماض أمينية		الوحدات البنائية المكونة للمركبات البلمرة
	سكريات أحادية		أحادية			

(أ) بالنسبة لمعظم الكائنات الحية الدقيقة : يزداد محتواها من الحمض النووى RNA بازدياد معدل النمو (صفحة 33) ونظراً لأن الكائنات بدائية النواة أسرع نمواً بصفة عامة من الكائنات حقيقية النواة ، فإن هذا ينعكس على ازدياد محتوى خلايا الكائنات الحية الأولى من الحمض النووى RNA .

(ب) تحتوى البكتيريا السالبة لجرام على كميات أكبر من الليبيدات وأقل من السكريات الببتيدية بالمقارنة بالبكتيريا الموجبة لجرام نظراً للاختلاف بينهما من حيث تركيب جدار الخلية .

(ج) عادة ماتحتوى الخلايا النامية فى وجود المزيد من مصادر الكربون والطاقة على مواد مخزنة بكميات كبيرة ؛ مثل الليبيدات والسكريات العديدة (صفحة 38) .

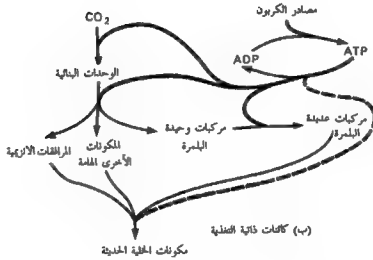
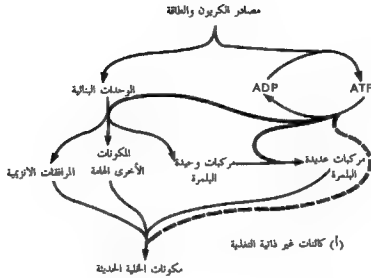
وبالنظر الى جدول ١- ٥ نلاحظ أن المركبات الملمرة ذات الوزن الجزيئي الكبير تكون ما يعادل ٧٠ - ٨٠٪ من وزن الخلية الجاف ، في حين أن الباقي تشغله الليبيدات والمركبات صغيرة الوزن الجزيئي ، مثل نواتج التمثيل الغذائي والمرافقات الأنزيمية والأيونات غير العضوية . وبما يلفت الانتباه عدم وجود تباين كبير بين الكائنات الحية المختلفة بخصوص هذه المكونات ، حيث تشتمل جميعها عموماً على الأحماض الأمينية المكونة للبروتينات والنيوكليوتيدات المكونة للأحماض النووية والعديد من أنواع الليبيدات وأغلب المرافقات الأنزيمية . وبالرغم من وجود اختلافات أساسية في الطرق المستخدمة بواسطة الكائنات الحية للحصول على الطاقة والوحدات البنائية اللازمة للنمو وكذلك بالنسبة لمقدرة كل من هذه الكائنات الحية في عملية التخليق الحيوي ، إلا أن هناك شبه اتفاق بين الكائنات الحية المختلفة فيما يتعلق بميكانيكية عملية التخليق الحيوي ، وبالنسبة للنواتج النهائية المكونة للخلية .

لهذا فإن عمليات التمثيل الغذائي بالخلية لا بد وأن توجه لتخليق المكونات التالية :

20	حمض أميني (من النوع L)
2- 4	حمض أميني خاص بتكوين البيبتيدوجليكان (في الكائنات البدائية
	النواة)
5	قواعد بيورين وبيريميدين
حوالي 10	سكريات أحادية
حوالي 10	ليبيدات
حوالي 20	مرافق إنزيم
	ومجموعة مختلفة من المركبات الأساسية الأخرى .

ويبلغ الحد الأدنى لعدد المركبات العضوية التي يلزم تخليقها بواسطة الخلية أو الحصول عليها من الوسط المحيط لأهميتها كوحدات بنائية أساسية أو كمكونات للخلية ما يقرب من 200 - 100 مركب . وتستطيع الغالبية العظمى من الكائنات الحية الدقيقة تخليق هذه المركبات ذاتياً حيث يمكن تلخيص خطوات تمثيلها غذائياً كما يلي :

١- إمداد الخلية بواسطة الطاقة اللازمة على هيئة مركبات غنية في الطاقة في صورة (ATP) وذلك بتكوينها من ADP (أو من AMP ولو أننا سوف نناقش تكوينها من ADP هنا فقط للسهولة) .



شكل ١ - ٥ الخطوات الرئيسية لعملية التحلل الغذائي في الكائنات غير ذاتية التغذية (أ) والكائنات ذاتية التغذية (ب) .

٢ - تتكون الوحدات البنائية الأساسية من مصادر الكربون الموجودة في الوسط المحيط ، وتبعا لذلك تقسم الكائنات الحية عادة إلى مجموعتين رئيسيتين هما الكائنات غير ذاتية التغذية والكائنات ذاتية التغذية. فبالنسبة للكائنات الغير ذاتية التغذية نجدها تحصل على كل من الكربون والطاقة من نفس المادة الغذائية التي تنمو عليها ، حيث تقوم بتحليلها للحصول على كل من الطاقة والوحدات البنائية اللازمة . أما في حالة الكائنات

ذاتية التغذية فإنها لا تحصل على الطاقة اللازمة لها من عمليات التحلل المواد العضوية أثناء تمثيلها الغذائي كما أن مصدر الطاقة يختلف عن مصدر الكربون الذى تحصل عليه من CO_2 فى الجو . وعلى الرغم من أن مثل هذه التفرقة قد تكون واضحة بالنسبة للنباتات (كائنات ذاتية التغذية) والحيوانات (كائنات غير ذاتية التغذية) ، والعديد من الكائنات الحية الدقيقة (سواء كانت ذاتية أو غير ذاتية التغذية) فهناك بعض الكائنات الحية الدقيقة التى تكون التفرقة فيما بينها صعبة ؛ حيث أن البعض منها قد يعيش معيشة ذاتية أو غير ذاتية فى نفس الوقت (كائنات ذاتية التغذية اختياريًا) ، وقد تجتمع فى البعض الآخر من هذه الكائنات بعض الخصائص المميزة لكل من الكائنات الذاتية وغير ذاتية التغذية .

٣ - تحويل هذه الوحدات البنائية إلى مركبات وحيدة البلمرة ومرافقات إنزيميه وغيرها من مكونات الخلية التى سبق الحديث عنها .

٤ - تكون المركبات عديدة البلمرة .

٥ - تكون المركبات عديدة البلمرة ذات التركيب رباعى الاتجاهات مع غيرها من المكونات الضرورية الأخرى وانتقالها إلى أماكنها الخاصة بالخلية حيث تكون التراكيب الأساسية اللازمة لوظائف الخلية الطبيعية .

ويخلص الشكل ١ - ٥ هذه العمليات المختلفة .

والآن دعنا نعرض بشيء من التفصيل لمراحل التمثيل الغذائى المختلفة مع التركيز بصفة خاصة على الاختلافات الناشئة فيما بين الكائنات الحية الدقيقة .

إنتاج الطاقة

الكائنات الحية غير ذاتية التغذية :

تعتبر غالبية الكائنات الحية الدقيقة غير ذاتية التغذية حيث تحصل على الطاقة اللازمة لها من خلال طريقتين للفسفرة أثناء التحلل الكيميائى للمواد العضوية المستخدمة كمصدر للكربون والطاقة والموجودة فى الوسط المحيط . والعمليّة الأولى هى عمليّة الفسفرة على مستوى مادة التفاعل والتي يتم خلالها تحلل المادة العضوية بواسطة بعض

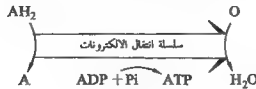
التفاعلات التي تعمل على إنتاج الطاقة وانطلاقها على هيئة روابط فوسفاتية غنية في الطاقة ترتبط بإحدى المركبات حيث يتم نقلها بعد ذلك إلى مركب ADP ليعطي في النهاية ATP . أما في حالة القسفرة التأكسدية فإنه يتم أكسدة إحدى المركبات المعطية للإلكترونات ، وحيث تنتقل الإلكترونات الناتجة عن عملية الأكسدة (تنطلق عادة في أزواج) عبر سلسلة انتقال الإلكترونات والتي يستقبلها في النهاية مستقبل للإلكترونات (B) وذلك بطريقة تسمح باستخدام الطاقة الناتجة في تكوين مركب ATP من مركب . ADP



وتمثل (n) عدد الروابط الغنية بالطاقة والناتجة عن انتقال أزواج الإلكترونات عبر سلسلة انتقال الإلكترونات والتي قد تصل في عدها 1 ، 2 أو 3 ، ويعتمد هذا الرقم على الطاقة الناتجة من عملية أكسدة المركب AH_2 وذلك على حساب المركب B ، وبالتالي مدى اختلاف جهد الأكسدة والاختزال لكل من النظام $\text{AH}_2 \rightleftharpoons \text{A}$ والنظام $\text{B} \rightleftharpoons \text{BH}_2$ ونظريا نجد أن زيادة هذا الاختلاف يعمل على زيادة كمية ATP المنتجة .

وعموما توجد ثلاثة طرق يتم بواسطتها انحلال مصدر الكربون والطاقة لإنتاج مركبات الطاقة :

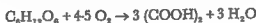
١ - التنفس الهوائي : يتم بواسطة هذه العملية انحلال مصدر الكربون والطاقة بواسطة سلسلة من التفاعلات المتتالية ، وحيث تم عملية الأكسدة على حساب الأكسجين الذي يستخدم كمستقبل نهائي للإلكترونات .



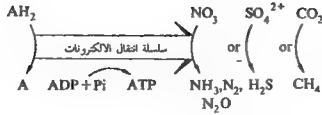
وتنتج أكبر كمية من الطاقة في عملية التنفس الهوائى من خلال عملية الفسفرة التأكسدية على الرغم من الاختلافات فيما بين الكائنات الحية الدقيقة من حيث مدى تعقيد سلسلة انتقال الإلكترونات في الميكروبات المختلفة . فمثلا نجد أن خلايا الخميرة تنقل الطاقة عبر مجموعة من المركبات الحاملة لها والموجودة في الميتوكوندريا ؛ والتي تماثل المركبات الموجودة في الحيوانات الراقية ، في حين أن البكتيريا تحتوى على عدد أقل من مركبات السيتوكروم مما يعكس بساطة سلسلة نقل الإلكترونات وبالتالي عدد أقل من مراحل الفسفرة . والمثال التقليدى في هذا الخصوص هو الأكسدة الكاملة للجلوكوز الى CO_2 وذلك خلال مسار من التفاعلات الكيميائية يعتبر شائعا في كل الميكروبات والنباتات والحيوانات ؛ حيث يتحول الجلوكوز بواسطة المسار الجليكولى إلى حمض البيروفيك الذى يؤكسد بعد ذلك إلى CO_2 بواسطة دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل ، وحيث تتكون الغالبية العظمى من مركب ATP بواسطة الفسفرة التأكسدية ، وبافتراض تكون 3 روابط فوسفاتية غنية في الطاقة نتيجة لكل خطوة من خطوات سلسلة انتقال الإلكترونات ، نجد أنه يمكن تمثيل إجمالى عملية الأكسدة بالتفاعل التالى :



وعلى الرغم من أن CO_2 يعتبر من أكثر النواتج النهائية شيوعا لعملية أكسدة مصادر الكربون والطاقة ، فإن بعض الكائنات الحية الدقيقة قد تقوم بعملية أكسدة غير كاملة وذلك كما هو الحال بالنسبة لبعض الفطريات التى تنتج حمض الأكساليك .



٢ - التنفس اللاهوائى : على الرغم من أن الأكسجين يعتبر أكثر مستقبلات الإلكترونات كفاءة وشيوعا إلا أن هناك بعض الكائنات الحية بدائية النواة التى يمكنها استخدام بعض المركبات الغير عضوية كمستقبلات للإلكترونات وذلك خلال عملية تسمى عن طريق الخطأ بعملية التنفس اللاهوائى حيث تختزل النترات إلى أمونيا وأكسيد النيتروز إلى النتروجين الغازى والكبريتات إلى الكبريتيد وثانى أكسيد الكربون إلى الميثان كما هو موضح فيما يلى :



وهنا يجب ملاحظة النقاط التالية :

(أ) تطابق مسارى انحلال مصدر الكربون والطاقة بواسطة عمليتي التنفس الهوائى واللاهوائى ، والاختلاف الوحيد هو مصدر الالكترونات الناتجة من عملية الأكسدة .

(ب) تتوقف كمية ATP الناتجة خلال انتقال أزواج الالكترونات عبر سلسلة انتقال الالكترونات على الاختلاف فى جهد الأكسدة والاختزال بين كل من معطى ومستقبل الالكترونات ، وحيث أن مثل هذه المركبات غير العضوية المستقبلة للالكترونات ذات جهد أكسدة واختزال أكبر من الأكسجين فإن كميات أقل من ATP تنتج فى حالة التنفس اللاهوائى عنه بالنسبة للتنفس الهوائى .

(ج) يلعب التنفس اللاهوائى دوراً هاماً فى المحافظة على استمرارية دورة العناصر فى الأوساط البيئية الطبيعية (انظر الفصل التاسع) .

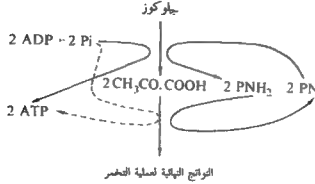
٣ - التخمر : لاحتياج عملية التخمر إلى مستقبل خارجى للالكترونات حيث تتم عملية انحلال مصدر الكربون والطاقة على مراحل بواسطة مجموعة من التفاعلات تعمل على انطلاق الطاقة بواسطة عملية الفسفرة غير الهوائية على مستوى مادة التفاعل وعلى الرغم من حدوث كل من عمليات الأكسدة والاختزال فإنه لا بد وأن تحدث بدرجة متوازنة بحيث تكون متوسط حالة الأكسدة التى تكون عليها المركبات الناتجة تعادل تقريباً الحالة التى عليها مادة التفاعل ذاتها .

وإذا أخذنا فى الاعتبار تخمر الجلوكوز فإن معظم الكائنات الحية الدقيقة تستخدم مسار التفاعلات الجليكولى فى المهاجمة الأولية للمادة العضوية منتجة حمض البيروفيك .

بمعنى

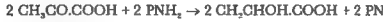


(حيث $PN + PNH$ تعتبر الصورة المؤكسدة والمختزلة لنيوكليوتيدات البيريدين)
ولاستمرار عملية التخمر لابد من إعادة أكسدة مركب البيريدين المختزل (عادة مركب $NADH_2$) بحيث قد تنتج أو لا تنتج طاقة عن مثل هذه العملية .



وهناك مجموعة متباعدة من النواتج النهائية لعملية التخمر ، ولكننا سوف نذكر اثنين منهما فقط :

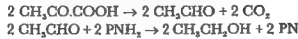
- تكون حمض اللاكتيك نتيجة لاختزال حمض البيروفيك بواسطة بكتريا حمض اللاكتيك



وتكون النتيجة النهائية كما يلي :



- تقوم الخميرة بعملية التخمر الكحولى الذى يعتبر أكثر تعقيدا نسبيا



والنتيجة النهائية تكون كحول الايثانول ، CO_2



وهذان مثالان فقط للعديد من النواتج النهائية للتخمير في الميكروبات ، ويعتبر طبيعية هذه النواتج النهائية عاملاً هاماً في تصنيف هذه الكائنات كما أن لكثير منها أهمية صناعية كبيرة . ويعتبر نمو الميكروبات لاهوائياً من خلال التخمير أقل كفاءة مقارنة بالتنفس الهوائى بحيث لا يتعدى ناتج نمو الخلايا لكل وحدة جلوكوز عُشر الناتج من التنفس الهوائى ، وهذا المعدل أقل من مدى الاختلاف في معدل تكوين ATP لكل جزيء جلوكوز يتم أكسدته أو تخمره (انظر ماقبله) وذلك نظراً لأن الجزء الأكبر من الجلوكوز يتم تمثيله لتكوين مركبات الخلية في التنفس الهوائى مقارنة بالنمو اللاهوائى .

الكائنات الحية ذاتية التغذية :

تشتمل هذه الكائنات على مجموعتين أساسيتين وذلك تبعاً لطريقة إنتاج الطاقة .

١ - الكائنات ذاتية التغذية الكيميائية :

وتحصل هذه الكائنات على الطاقة اللازمة لها من أكسدة المواد غير عضوية ؛ مع استخدام الأكسجين كمستقبل نهائى للإلكترونات ويتكون ATP بواسطة الفسفرة التأكسدية ، والاختلاف الرئيسى في طريقة تكوينه عن ما يحدث في الكائنات غير ذاتية التغذية هو أن معطى الإلكترونات يكون مركباً غير عضوى ، ويوضح جدول (٥-٢) بعض أمثلة الميكروبات الهامة في هذا الشأن .

جدول (٥ - ٢) المركبات المانحة للإلكترونات ونواتج أكسدها بواسطة تفاعلات الحصول على الطاقة التي تقوم بها بعض مجاميع البكتريا ذاتية التغذية الكيميائية .

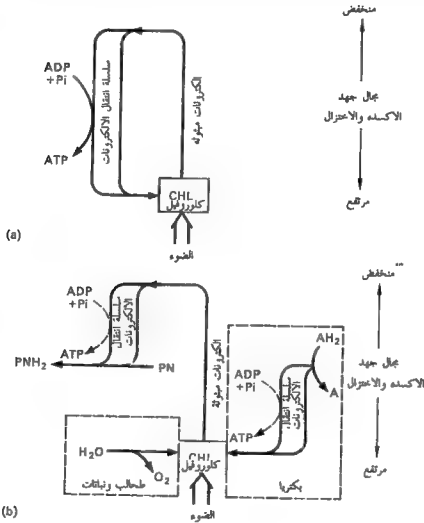
مجموع البكتيرية المختلفة	معطى الإلكترونات والناتج النهائي
بكتريا التآزرت	$\text{NH}_3 \longrightarrow \text{NO}_2^-$ $\text{NO}_2^- \longrightarrow \text{NO}_3^-$
بكتريا الكبريت	$\text{H}_2\text{S} \longrightarrow \text{S}$ $\text{S} \longrightarrow \text{SO}_4^{2-}$
بكتريا الهيدروجين	$\text{H}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$
بكتريا الميثان	$\text{CH}_4 \longrightarrow \text{CO}_2$
بكتريا الحديد	$\text{Fe}^{2+} \longrightarrow \text{Fe}^{3+}$

وتعتبر هذه المجموع البكتيرية ذاتية التغذية الكيميائية ذات أهمية اقتصادية كبيرة ، ومنها على سبيل المثال ميكروب *Thiobacillus thiooxidans* الذى يستخدم كممثل لوحدة مبادئ الكيمياء الحيوية فيما بين الكائنات الحية عموما ، حيث يحصل على الكربون من CO_2 وعلى الطاقة من أكسدة مركبات الكبريت غير العضوية إلى حمض الكبريتيك ، كما أنه يمكنه النمو عند رقم حموضة منخفض جدا أقل من pH 1.0 ولا تستطيع النمو في وجود مواد غذائية عضوية مثل الجلوكوز الذى يعمل على تثبيطه . ومع ذلك فإنه لم يلاحظ وجود اختلاف في ميكانيكية إنتاج الطاقة (ATP) والاختلاف الوحيد هو أن المادة المانحة للالكترونات أثناء عملية الفسفرة التأكسدية عبارة عن مركبات الكبريت غير العضوية ، كما أن عمليات التمثيل الغذائى الوسطية تختلف اختلافا قليلا عن غيرها من الكائنات ذاتية التغذية التى تستخدم CO_2 كمصدر وحيد للكربون . ومن سوء حظ العلماء ولحسن حظ الطلاب لابد وأن نقوم بزيارة الكواكب البعيدة قبل أن نعرض على نوع غير تقليدى من الكيمياء الحيوية ، ومع هذا فإن هناك بعض علماء الكيمياء الحيوية الذين يعتقدون في حتمية نشوء كائنات حية شبيهة بكائناتنا الحية في مثل هذه الكواكب .

٢ - كائنات ذاتية التغذية الضوئية :

تحصل هذه الكائنات على الطاقة اللازمة لها أساساً من عملية الفسفرة الضوئية ، والتى تعتمد أساساً على استثارة جزيئات الكلوروفيل بواسطة الضوء مما يؤدي إلى بث الالكترونات غنية في الطاقة تعمل على اختزال بعض المركبات التى لها جهد أكسدة واختزال منخفض والتى بعد ذلك يمكن أكسدتها خلال نظم معين لانتقال الالكترونات يؤدي في النهاية إلى إنتاج جزيئات ATP بطريقة مماثلة لعملية الفسفرة التأكسدية وينتج عن ذلك عودة الالكترونات مرة ثانية إلى جزيء الكلوروفيل . وبالرغم من عدم توفر أية معلومات كثيرة عن المواد الحاملة للالكترونات إلا أن هذه العملية التى تسمى بالفسفرة الضوئية البوربة تتأثر تماماً في جميع الكائنات ذاتية التغذية الضوئية (شكل ٥ - ٢) ولو أنها تختلف في طبيعة الصبغات المسئولة (كلوروفيلات - كاروتينات) وكذلك بالنسبة لبعض خصائص عملية الفسفرة الضوئية غير البوربة ، والتى يتم فيها استخدام المركب المختزل ذو جهد الأكسدة والاختزال المنخفض الناتج بفعل الالكترونات المثبوثة من الكلوروفيل في اختزال نيوكليوتيدات البيريدين من خلال سلسلة تنفسية مختصرة . وتعود الالكترونات مرة أخرى إلى الكلوروفيل بواسطة مركب

خارجي مانع الالكترونات ، والذي يميز عملية التمثيل الضوئي في البكتريا عنه بالنسبة للطحالب والنباتات الخضراء ، فبالنسبة للكائنات الأخيرة يستخدم الماء كمعطي للالكترونات ويتصاعد O_2 أما بالنسبة للبكتيريا فتستخدم مركبات خارجية (AH_2) معطية للالكترونات مثل مركبات الكبريت غير العضوية ، مواد عضوية أو غاز الهيدروجين مما يؤدي إلى عدم تصاعد O_2 (انظر شكل ٥ - ٢) . وهنا يجدر ملاحظة أن الفسفرة الضوئية غير الدورية تنتج نيوكليوتيدات بيريدين مختزلة بالإضافة إلى ATP والتي تعتبر كميزة هامة إذا ما أخذ في الاعتبار التمثيل الحادث لغاز CO_2 (انظر صفحة 109) .



(شكل ٥ - ٢) تخطيط مبسط لعملية الفسفرة الضوئية الدورية (أ) وغير الدورية (ب)

مما سبق يتضح جليا أن لدى الكائنات الحية الدقيقة طرق مختلفة للحصول على الطاقة والذي ينعكس على تعدد الأوساط البيئية التي يمكنها أن تنمو فيها وتستعمرها .

تكوين الوحدات البنائية الأساسية :

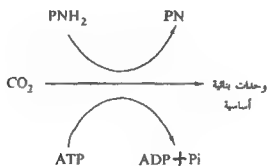
تعمل الكائنات الحية غير ذاتية التغذية على انحلال مصدر الكربون والطاقة ، وذلك من خلال سلسلة من التفاعلات التي تعمل على تزويد الخلايا بنواتج أساسية للتمثيل تستخدم كوحدات بنائية أساسية لتخليق ما بين 200-100 من المركبات وحيدة البلمرة والمراققات الأنزيمية و وحدات البناء الأساسية للخلية . ونواتج التمثيل الوسيطية الأساسية هذه تتضمن السكريات الفوسفاتية ، البيروفات ، الفوسفو جليسر ، الخلات ، الاكزال خلات ، السكسينات ، الألفا كيتوجلوتاريت . وتتواجد الأنزيمات المحفزة هذه التحولات والتي منها مسار تفاعلات الانحلال الجليكولى ودورة الأحماض الثلاثية الكربوكسيل دائما في جميع الأحياء الخلوية والتي يتم إنتاجها بغض النظر عن الظروف البيئية المحيطة . وسوف نشير إلى هذه التفاعلات في مجملها على أنها تكون « نظام التمثيل الوسيطى الأساسى » . ومن أهم وظائف هذه الأنزيمات في الكائنات غير ذاتية التغذية إنتاج الطاقة وتخليق الوحدات البنائية الأساسية في الخلية . أما بالنسبة للكائنات ذاتية التغذية فنظرا لأن غاز CO_2 هو المصدر الوحيد للكربون فإن دور هذه الأنزيمات يكون تخليق وحدات البناء الأساسية . ويطلق على مثل هذه الأنزيمات ومسارات التفاعلات التي تعتبر مسؤولة عن عملية البناء والهلم بالأنزيمات الأمفيوبية ، والتي تتواجد دائما في الخلية دون اعتبار للظروف البيئية المحيطة ، بمعنى أنها أنزيمات تكوينية ، ومن أهمها الأنزيمات المتخصصة في استخدام مصادر الكربون والطاقة .



(شكل ٥ - ٣) رسم تخطيطي للأنزيمات المسؤولة عن تحولات مصادر الكربون والطاقة (A, B, C, D) إلى مركبات وحيدة البلمرة ومراققات إنزيمية (W, X, Y, Z) ضرورية النمو .

وحيث أن العديد من الكائنات الحية غير ذاتية التغذية تستطيع استخدام مئات من مصادر الكربون والطاقة ونظرا لاستخدام العديد من الأنزيمات المتخصصة لكل مسار من مسارات التفاعلات الكيميائية المختلفة ، فإن هذا يستلزم أن يكون للخلية المقدرة على إنتاج أعداد كبيرة جدا من الأنزيمات الخاصة بالتمثيل الغذائي . وعموما تتكون هذه الأنزيمات فقط عند الحاجة إليها ، أى عند تواجد مصدر الكربون والطاقة المناسبة في الوسط المحيط ، ولذا يطلق على هذه الأنزيمات بالأنزيمات المستحثة والتي لا توجد بالخلية إلا عند توفر مصدر الكربون والطاقة المسئول في محيط الخلية . ومنها على سبيل المثال أنزيم الفاجلوكوزيداز (المالتيز) الذى يستحثه وجود سكر المالتوز . وكما يوضح الشكل (٥ - ٣) نجد أن المادة A تستحث تخليق مجموعة أنزيمات A_1, A_2, A_3, A_4 والمادة B تستحث أنزيمات B_1, B_2, B_3, B_4 وهكذا .

يعتبر غاز CO_2 مصدر الكربون للكائنات ذاتية التغذية حيث يتم تحويله الى نواتج تمثيل غذائى وسطية خلال سلسلة من التفاعلات (دورة كالفين) التى تعتبر شائعة الوجود في جميع الكائنات الحية الذاتية التغذية سواء كانت ذاتية التغذية الكيميائية أو الضوئية ويلزم لحدوث هذا التحول طاقة على هيئة ATP وقوة مختزنة مثل نيوكليوتيدات البيريدين المختزنة .



ولقد تم في الجزء الأول من هذا الفصل مناقشة ميكانيكية تخليق مركب بواسطة الكائنات ذاتية التغذية وتفاعلات إنتاج القوة المختزنة بواسطة عملية التمثيل الضوئى (صفحة 107) أما في الكائنات الذاتية التغذية الكيميائية فإن الإلكترونات اللازمة لعملية اختزال نيوكليوتيدات البيريدين تأتى عن طريق المركبات غير العضوية المانحة للإلكترونات ، والتي تعتبر في نفس الوقت مصدرا للطاقة .

تكوين المركبات وحيدة البلمرة والرافقات الانزيمية :

تنشط إثر عمليات التمثيل الغذائي الوسطية سلسلة من مسارات التفاعلات الكيميائية مسئولة عن تخليق المركبات وحيدة البلمرة والرافقات الانزيمية وغيرها من المركبات اللازمة للنمو . وتوجد هناك اختلافات جوهرية فيما بين الكائنات الحية الدقيقة بالنسبة لمدى تعقيد مسارات التمثيل الغذائي بالخلية . وتنعكس هذه الاختلافات على المواد الغذائية اللازمة للنمو (انظر صفحة 113) . فعند نمو ميكروب ما في وسط بيئي يحتوى على إحدى النواتج النهائية لأحد مسارات التمثيل الغذائي (كما هو الحال بالنسبة للمركب W في الشكل ٥ - ٢) فإن ذلك يعد ميزة واضحة بالنسبة لاقتصاديات الخلية التي لاتعمل عندئذ على تكوين هذا المركب ، وحيث نجد أن الأنزيمات W_1, W_2, W_3 المسؤولة عن خطوات البناء غير نشطة بل ويفضل عدم تكونها بالمرءة ويتم بإحدى الطريقتين التاليتين :

١ - يثبط المركب W الانزيم الأول المسئول في مسار التمثيل (W_1) وهذا ما يطلق عليه بعملية التثبيط الرجعي .

٢ - يعمل المركب W على تثبيط جميع الأنزيمات المسئولة عن عملية تمثيله (أى الأنزيمات W_1, W_2, W_3) حيث . تسمى بالأنزيمات المكبوتة ويطلق على العملية ذاتها عملية الكبت . وتعتبر عمليتي الحث والكبت من أهم وسائل التحكم التي تعتمد عليها الخلية في كفافها للبقاء ، حيث أن أى زيادة ولو بسيطة في معدل نموها تؤدي الى سيادتها بدرجة واضحة في أوساط بيئية معينة .

ولابد من إنتاج المركبات وحيدة البلمرة الأساسية في صورة نشطة ؛ حتى لاحتاج إلى طاقة أخرى أثناء عملية البلمرة ، وتتأثر هذه المركبات (مثل amino acyl- RNA ، النيوكلوزيدات ثلاثية الفوسفات وغيرها) في جميع الكائنات الحية الدقيقة والراقية على حد سواء .

عملية البلمرة :

تم هذه العملية بطريقة متماثلة في جميع الكائنات الحية ، ولكنها تختلف في نوعية المركبات البلمرة الناتجة كما هو مبين فيما يلي :

البلمرة المتجانسة :

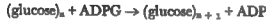
بمعنى : -A-A-A-A-A

حيث يتكرر مركب واحد من المركبات وحيدة البلمرة طوال السلسلة الكيميائية . وتستلزم عملية البلمرة نشاط إحدى أنزيمات البلمرة على المركب وحيد البلمرة منشط (A*) ، وذلك من خلال تفاعل يحتاج إلى وجود جزيء عديد البلمرة $[(A)_n]$ كنواه لحدوث العملية بمعنى :



وهنا يجمل الإشارة إلى مثالين نموذجيين :

(أ) عديدات الجلوكوز



حيث أن : $(\text{glucose})_n = \text{glycogen}$

ومركب ADPG هو جلوكوز أدينوزين ثنائي الفوسفات



حيث أن $(\text{glucose})_n = \text{dextran}$, $\text{glucose-fructose} = \text{sucrose}$

(ب) عديد بيتا هيدروكسي بيوتيرات Poly- β -hydroxybutyrate

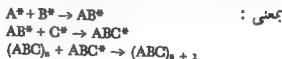


البلمرة غير المتجانسة مع تكرار وحدة ثابتة (البلمرة غير المتجانسة المنتظمة)

بمعنى



حيث يتكرر هنا اكبر من مركب وحيد البلمرة في الوحدة ولكن المركب عديد البلمرة يتكون من تكرار وحدة تختلف في درجة تعقيدها . وتحدث عملية البلمرة عادة نتيجة لتمثيل الوحدة المنشطة في البداية ثم تم لها عملية البلمرة .

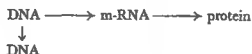


وفي المثال السابق نجد أن طبيعة المركب عديد البلمرة يتحدد طبقا لتخصص ثلاث أنزيمات مسئولة . ومن أمثلة هذه المركبات التمثيلية التي تخلفها الميكروبات عديدات السكر غير المتجانسة الموجودة في جدار الخلية والكبسولة ومادة السكريات الببتيدية في الكائنات الحية بدائية النواة .

البلمرة غير المتجانسة دون تكرار وحدة ثابتة :



والمثال الوحيد في هذا الخصوص هو الأحماض النووية والبروتينات . فعلى عكس ماسبق لا يتحدد طبيعة المركب المتكون نتيجة لتخصص الأنزيم المسئول ، ولكنها تتحدد نتيجة للشفرة أو نظام القالب المتكرر ، علما بأن الطرق المستخدمة في هذا الخصوص بصفة عامة هي النسخ والترجمة ، كما أن الشفرة المستخدمة تعتبر عامة بالنسبة لجميع الكائنات الحية . والمثال الشهير على ذلك والذي يكاد يكون معروفا للجميع هو تكون ضفيرة الحمض النووي DNA .



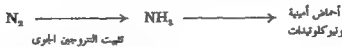
تحول مكونات الخلية إلى الصور النشطة فسيولوجيا :

تنتج معظم مكونات الخلية في صورة كاملة النشاط وفي الموقع المحدد بالخلية وذلك

كفى تقوم بدورها ، وعلى هذا نجد أن الأنزيمات الذاتية تتكون في الريبوزومات ثم تنطلق مباشرة إلى السيتوبلازم ، في حين أن العديد من الجزيئات الكبيرة المكونة لجدر الخلية تحدث لها عملية البلعمة في مواقع معينة من سطح الغشاء السيتوبلازمي الخارجى ، حيث ترتبط الوحدات النشطة مع جدار الخلية ، وفى أماكنها المحددة تحت فعل الأنزيمات المتصلة بالغشاء السيتوبلازمي . ومن ناحية أخرى نجد أن بقية المكونات يلزم نقلها وإندماجها كفى تكوّن التركيبات الملائمة قبل أن تصبح فى حالة نشطة . لهذا نجد أن أنزيمات النفاذية الاختيارية (بريميز) والبروتينات الخاصة بسلسلة انتقال الالكترونات تكون مندمجة فى الغشاء السيتوبلازمي وأنزيمات بلعمة الحمضين النووين DNA, RNA توجد بالنواة وبروتينات الريبوزومات توجد بالريبوزومات وهكذا . ومن المعتقد أنه لا بد أن يكون للبروتينات نقاط للتعرف على مواقعها ، حتى يمكن لها أن تعمل فى الموقع المناسب فى الخلية وإن كانت معلوماتنا عن هذا الموضوع لازالت قليلة .

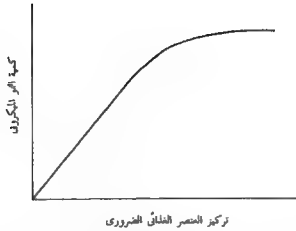
تغذية الكائنات الحية الدقيقة :

لقد شاهدنا أن هناك ما بين 200-100 مركب وحيد البلعمة ومرافقات إنزيمية وغيرها من المكونات الكيميائية الهامة والتي تعتبر ضرورية لنمو الكائنات الحية الدقيقة . ومثل هذه المكونات لا بد أن يتم تمثيلها بواسطة الخلية ، أو تحصل عليها من الوسط المحيط على صورة مواد غذائية ، بمعنى آخر أن هناك علاقة عكسية بين مقدرة الخلية على التمثيل الجوى للمكونات المختلفة وبين احتياجاتها الغذائية . وتستطيع بعض الخلايا تكوين جميع مكونات الخلية باستخدام الوحدات البنائية المتوفرة لها مما يمكنها من النمو فى بيئات غذائية بسيطة للغاية ، فى حين أن البعض الآخر لا يمكنها إلا تمثيل القليل من المكونات اللازمة لها ، لذا فإنه يلزمها احتياجات غذائية أكثر تعقيدا . وهذا المدى الواسع فى الاختلاف يمكن توضيحه بالنظر لاحتياجات الخلية من المركبات التروجينية العضوية ، والتي من أهمها كسأ الأحماض الأمينية ، والنيوكليوتيدات اللازمة لتخليق البروتينات والأحماض النووية ، وقد تستطيع بعض الكائنات الحية الدقيقة استعمال التروجين الغازى حيث تعمل على اختزاله بواسطة ما يسمى بعملية تثبيت التروجين الجوى منتجة الأمونيا التى بدورها تستخدم فى إنتاج مركبات التروجين العضوية .



ولهذا فإن الكائنات الحية الدقيقة المثبتة للتروجين الجوى تستطيع النمو في وجود غاز التروجين كمصدر وحيد للتروجين في حين أن غيرها من الكائنات الحية الدقيقة يلزم نموها توفر مركبات نتروجين معدنية مثل الأمونيا التي يمكن تحويلها إلى صور التروجين العضوية ، كما أن بعض الكائنات الأخرى لا تستطيع تخليق غالبية الأحماض الأمينية والنيوكليوتيدات لذا يلزم توفر التروجين اللازم لها في صورة مركبات عضوية معقدة .

تمثل العناصر الرئيسية المكونة لخلايا الكائنات الحية الدقيقة في S, O, H, C بالإضافة إلى P . وتحصل الكائنات الغير ذاتية التغذية على عنصر C من مواد عضوية مختلفة ويعتمد عنصر H, O من الماء في حين أن P, S, N تحصل عليها من الأيونات غير العضوية مثل الأمونيا ، النترات ، الكبريتات والفوسفات . ومثل هذه الكائنات الحية يمكنها النمو في بيئة غذائية تركييبية يمكن تحضيرها من مواد غذائية مثل الجلوكوز ، $FeSO_4, MgSO_4, K_2HPO_4, Na_2SO_4, NH_4Cl$ وعادة ماتوجد العناصر الغذائية الصغرى اللازمة لنمو الميكروبات (مثل Zn, Cu, Mo, Co, Ca, Mn) بكميات كافية ، وذلك كشوائب مصاحبة للمواد الغذائية السابقة . أما بالنسبة للكائنات ذاتية التغذية ، فانها تستمد الكربون اللازم لها من CO_2 كما أنها تحتاج إلى مصدر مناسب من المواد المانحة للالكترونات كما في حالة الكائنات ذاتية التغذية الضوئية بالإضافة إلى تزويد الخلايا بالإضاءة الكافية . وهناك مجموعة من البيئات التركيبية الأكثر تعقيدا والتي تحتوى على مواد غذائية إضافية يلزم توافرها لنمو كائنات حية دقيقة معينة . فعلى سبيل المثال نجد أن بكتريا *Salmonella typhi* (المسببة لحمى التيفود) تتطلب إضافة الحمض الأميني التربتوفان إلى البيئة الغذائية التي تنمو عليها . وهناك كائنات حية دقيقة أخرى تعتبر أكثر تعقيدا في احتياجاتها الغذائية . فمثلا يحتاج ميكروب *Leuconostoc mesenteroides* في نموه إلى الخلات ، 14 حمض أميني ، 4 قواعد بيرورين وبريميدين ، 10 مرافقات إنزيمية (والتي قد يطلق عليها في هذه الحالة بالفيتامينات الميكروبية) ، مما يشير بوضوح إلى إمكانية هذا الميكروب المحدودة جدا في التمثيل الجوى لمكونات الخلية الأساسية . وتعتبر مثل هذه البيئات التركيبية المعقدة غاية في التكلفة وصعوبة التجهيز لذا فإن استخدامها يكون مقصورا على الأغراض البحثية . ولكن من الناحية الروتينية نجد أن البيئات الشائعة الاستعمال في المعامل الميكروبيولوجية يجب أن تسمح بنمو أكبر عدد ممكن من الكائنات الحية الدقيقة ، وأن تكون سهلة الإعداد باستمرار بالإضافة إلى كونها اقتصادية . وهناك مجموعة متباينة من هذه البيئات التي تصنع على نطاق واسع ، والتي تتكون أساسا من مصدرين للمواد الغذائية :



(شكل ٥ - ٤) التقدير الحيوي للعناصر الغذائية بواسطة الميكروبات. العلاقة الناشئة بين النمو الميكروبي وتركيز العناصر الغذائية الضرورية

١ - إحدى نواتج التحلل المائي للبروتينات (والتي يطلق عليها أحيانا الببتون) ، وذلك كمصدر للطاقة وعنصرى C ، N والأحماض الأمينية .

٢ - مستخلص طبيعي يحتوي على المواد الغذائية الأساسية الأخرى مثل الفيتامينات والأملاح . ويستخدم في هذا الخصوص مستخلص اللحم أو مستخلص الخميرة ، ولكن في بعض الأحيان قد يضاف الدم أو السيرم أو البيض . ومن أهم أمثلة هذه البيئات العملية الشائعة الاستعمال بيعة المرق المغذى التي عادة ماتحتوى على 1-2% ببتون ، 1% مستخلص اللحم بالإضافة إلى ملح NaCl الذى يعمل على تعديل الضغط الاسموزى كى يصبح ملائما لنمو معظم الميكروبات .

التقدير الحيوي للعناصر الغذائية بواسطة الميكروبات :

إذا مأخذنا في الاعتبار مدى احتياج النمو الميكروبي للمواد الغذائية المختلفة ، والتخصص فيما بين الميكروبات من حيث هذه الاحتياجات فإنه يمكن استخدام كفاءه نمو الكائنات الحية الدقيقة كإحدى طرق التقدير الحيوي للعناصر الغذائية . فعند قياس كمية النمو الميكروبي المتكون في مجموعة متتالية من البيئات الغذائية المحتوية على تركيزات مختلفة من عنصر غذائي معين ، فإننا نحصل على نتيجة مماثلة لما هو مبين في الشكل (٥ - ٤) ، حيث يلاحظ أنه توجد في مجال التركيزات المنخفضة لهذا العنصر علاقة

خطية بين التركيز وكمية النمو (A إلى B) . ولكن في وجود تركيزات أكبر من ذلك يحدث ثبات لكمية النمو حيث قد يصبح عاملاً آخر خلاف تركيز العنصر الغذائي تحت الدراسة هو المحدد للنمو . لذا فإن الجزء الخطي من هذه العلاقة يمكن استخدامه في التقدير الحيوى للعناصر الغذائية المختلفة . ومن الناحية النظرية يمكن استخدام هذه الطريقة في تقدير أى من العناصر الغذائية اللازمة نمو الميكروبات ، ولكنها تعتبر أكثر أهمية بالنسبة لتقدير الفيتامينات حيث يتم ذلك بدرجة عالية من التخصص والدقة .

تطور تغذية الكائنات الحية الدقيقة :

يفترض أن الكائنات الحية الدقيقة ذات الاحتياجات الغذائية البسيطة هي أكثر صور الحياة بدائية وذلك من ناحية النشوء والتطور . وفي الأوساط البيئية الغنية في المواد الغذائية المختلفة نجد أن القدرة على التمثيل الحيوى لمكونات الخلية يعد غير ذى فائدة بل تعتبر ضارة بالخلية التى قد تنتج كمأ هائلاً من الأنزيمات التى تعد غير ضرورية . وعند استيطان الكائنات الحية الدقيقة لمثل هذه الأوساط البيئية الغنية كما في حالة الطفيليات فإنه يفترض حدوث تطور غذائى في اتجاه نشوء طفرات تفتقد الى بعض المسارات الكيميائية اللازمة لتمثيل بعض مكونات الخلية . ويصل مدى التطور الغذائى إلى أقصاه في الكلايديا ، التى ليس لها نظام منتج للطاقة ، وتعتمد بالتالى على خلية العائل في الحصول على احتياجاتها من ATP وأغلب احتياجاتها الغذائية . ونتيجة لاعتماد الكلايديا على العائل فإن لها ذخيرة إنزيمية محددة كما أنها تحتوى على كمية من الحمض النووى DNA تعادل عُشر ذلك الموجود في الخلية بدائية النواة ذات النشاط التمثيلى الكامل .

ولكن يقف أمام هذه النظرية البسيطة الخاصة بالتطور الغذائى عائق أساسى وهو أن الكائن الأكثر بساطة في احتياجاته الغذائية يفترض فيه أنه أكثر الكائنات الحية تعقيدا بالنسبة لعدد الأنزيمات التى يكونها . وهذا الموقف الغامض سوف نناقشه فيما بعد (صفحة 141) .

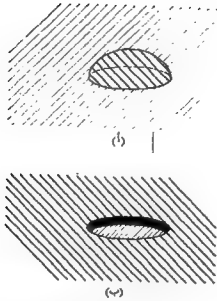
الفصل السادس

تكاثر الفيروسات

جرت العادة عند دراسة نظام تضاعف الفيروسات وتكاثرها أن يتم ذلك بتتبع مهاجمة الخلية البكتيرية بواسطة أحد جزيئات البكتريوفاج أو الفاج كما يسمى عادة . في الحقيقة فقد ركزت معظم الأبحاث في هذا المجال على مجموعة من الفاجات المتخصصة في مهاجمة بكتريا *Escherichia coli* (والتي يطلق عليها فاجات بكتريا مجموعة القولون) وقد اختيرت هذه الفاجات بالصدفة ، وأعطيت حرفا معينا هو (T) يعقبه رقم مميز . وتعتبر فاجات T2, T4 T6 ذات خصائص متماثلة ، كما أنها حظت باهتمام معظم الباحثين . وعلى الرغم من كون هذه الفاجات فيروسات ذات تركيب بالغ التعقيد (انظر صفحة 55) ، إلا أنه قد ثبت ملاءمتها لأغراض التجارب والأبحاث . وسوف يتناول هذا الفصل بصفة أساسية النتائج التي تم الحصول عليها بدراسة هذه الفاجات ، والتي يمكن تطبيقها على الفيروسات بصفة عامة .

تقدير أعداد الفاجات :

بعد الميكروسكوب الإلكتروني من الطرق المعقدة وغير الموثوق فيها في تقدير أعداد الفاجات ولكن لابد من ذلك تستخدم طريقة عد جزيئات الفاج النشطة والتي تعتمد أساسا على مقدرة الفاج على إصابة الخلية البكتيرية الحساسة ، حيث يتكاثر بداخلها مؤديا في النهاية إلى تحللها وانطلاق فاجات حديثة تعاود مهاجمة الخلايا البكتيرية المجاورة . ولإجراء ذلك معمليا يضاف الفاج إلى غشاء رقيق من الخلايا البكتيرية الموجودة على طبق من الآجار المغذى ؛ حيث يهاجم كل جزيء فاج خلية من خلايا العائل ، ويتكاثر بداخلها ثم يعمل على تحللها مما يؤدي إلى تكون بقع شفافة على طبق



(شكل ٦ - ١) مقارنة بين كل من المستعمرة البكتيرية وموقع الفاج الخلالة .

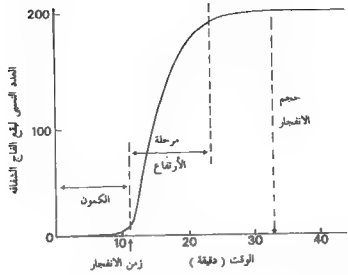
(أ) مستعمرة بكتيرية ناعمة على طبق آجار .

(ب) بقع فاج خلالة متكونة في العشاء البكتيري الرقيق والمدمج .

الآجار تتكون أساسا من خلايا البكتريا المتحللة ، والتي تم قتلها بواسطة الفاج . وحيث أن كل بقعة من هذه الشفافة تنتج أساسا عن جزئ فاج واحد فإن ذلك يستلزم في عد جزيئات الفاج كما هو الحال بالنسبة للمستعمرات الميكروبية التي تستخدم في تقدير أعداد الكائنات الخلوية الأخرى من البكتريا والفطريات (شكل ٦ - ١) .

منحنى النمو ذو المرحلة الواحدة :

تتضح أهم خصائص الفيروسات من خلال تجارب منحنى النمو ذو المرحلة الواحدة . حيث تخلط خلايا بكتريا حساسة مع عدد قليل من جزيئات الفاج المتخصص في إصابتها ثم يحضن الخليط لمدة قصيرة تسمح بادمصاص الفاجات على الخلية البكتيرية ثم يعمل تخفيف للمزرعة والتي تترك بعد ذلك لتنمو حتى يمكن تقدير أعداد كل من جزيئات الفاج الحرة ؛ بالإضافة إلى الخلايا البكتيرية المصابة معا وهنا يجدر ملاحظة أن كل بقعة شفافة تكون ناتجة من إحدى جزيئات الفاج أو من خلية مصابة بغض النظر عما تحتويه من جزيئات الفاج مع اختلاف أعدادها . ويوضح الشكل (٦ - ٢) نتائج إحدى التجارب النموذجية .



(شكل ٦ - ٧) منحنى النمو ذو المرحلة الواحدة لإحدى الفاجات التي تصيب الخلية البكتيرية

في البداية يمر الفاج بمرحلة كمون لا يحدث خلالها أى زيادة في أعداد البقع الشفافة المتكونة على سطح الأجار ، وفجأة يحدث ارتفاع مضطرب في أعداد جزيئات الفاج المكونة للبقع الشفافة وذلك أثر تحلل خلايا البكتيريا وانطلاق نتاج الفاجات الجديدة . وبعد ذلك تصل فترة الانفجار هذه إلى الثبوت حيث يظل أعداد البقع الشفافة المتكونة ثابتة تقريبا ، نظراً لأن التخفيف الكبير للمزرعة يحول دون ادمصاص الفاجات المتكونة حديثاً على ماتبقى من الخلايا البكتيرية . ويطلق على المعدل الذى تتزايد به جزيئات الفاج في مثل هذه التجارب بحجم الانفجار ، والذي يمثل متوسط أعداد جزيئات الفاج الناتجة عن تحلل خلية بكتيرية واحدة مصابة . وهنا يتضح مدى كفاءة الفيروسات في تكاثرها ، حيث عادة ما ينتج عن الخلية الواحدة المصابة عدة مئات من جزيئات الفاج علماً بأن المدة التى يم خلالها لإنجاز جميع مراحل تجربة منحنى النمو ذو المرحلة الواحدة تستغرق ما بين 10-20 دقيقة .

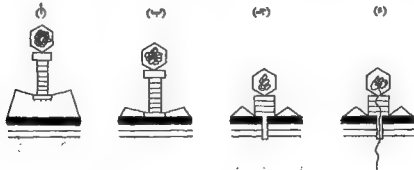
تضاعف الفاجات :

بأخذ فاجات بكتريا القولون (فاجات T) كنموذج للدراسة ، وجد أن الفاجات عموماً أثناء تضاعفها تمر بالمراحل الثلاث التالية :

- ١ — الادمصاص واختراق خلايا العائل .
- ٢ — إنتاج جزيئات الفاج الجديدة داخل الخلية .
- ٣ — تحلل خلايا العائل ، وانطلاق جزيئات الفاج .

ادمصاص خلايا العائل واختراقها :

عند مزج معلق من جزيئات الفاج بخلايا بكتيرية حساسة فإن الفاجات تتعلق بأسطح خلايا العائل (شكل ٦ - ٣ أ) وتعد عملية الادمصاص هذه في غاية التخصص ويمكن تشبيهها بما يتم بين الانزيمات ومواد التفاعل أو الأجسام المضادة والأجسام المولدة لها . وتوجد هناك مناطق مكملة لبعضها على كل من خيوط الفاج وجدار الخلية البكتيرية . ويعقب عملية الادمصاص تمام استقرار خيوط الفاج والتحامها بأسطح الخلية (شكل ٦ - ٣ ب) ، ويلي ذلك انضغاط غمد ذيل الفاج مما يؤدي إلى دفع الجزء الداخلي للذيل خلال جدار الخلية والغشاء السيتوبلازمي (شكل ٦ - ٣ ج) وفي النهاية يجد المحتوى النووي طريقه إلى داخل الخلية البكتيرية (شكل ٦ - ٣ د) بواسطة عملية تشابه الحقن بالمحقنة تحت الجلد ، وذلك مع ملاحظة عدم انضغاط رأس جزئ الفاج ذاته ، وحتى الآن لم يعرف السبب الأكيد والذي يعمل على دفع المحتوى النووي للفاج إلى داخل الخلية البكتيرية ، والنتيجة النهائية للعملية السابقة هي ترك الغلاف البروتيني لجزئ الفاج خارج خلية العائل ، في حين يمر المحتوى النووي فقط إلى الداخل . ولقد تم الكشف عن هذه الحقيقة عندما تم تعليم يروتين الفاج باستخدام النظير المشع ^{٣٢}S والحمض النووي باستخدام نظير الفوسفور ^{٣٢}P في التجارب العملية ، حيث تبين أن عنصر ^{٣٢}P هو الوحيد الذي يصل إلى داخل سيتوبلازم الخلية ، لاعبا الدور الأساسي في تكاثر جزيئات الفيروس . وتعتبر هذه التجربة من التجارب الأساسية التي ساعدت في تقدم علوم الحياة والوراثة الجزيئية حيث أنها أظهرت أن الحمض النووي للفاج فقط هو الذي يعد أساسيا لحمل الشفرة الوراثية الخاصة بإنتاج جزيئات الفيروس المكتملة . بمعنى



(شكل ٦ - ٣) ادمصاص الفاج على خلية بكتيرية حساسة ثم حقن الحمض النووي للفاج (اقرأ النص للمزيد من التفاصيل) .

أن المعلومات الوراثية الأساسية محصورة في الحمض النووي للفاج . ومن الشواهد الملفته للنظر ، والتي أدت إلى التأكد من أن الغلاف البروتيني لجزئى الفاج ينحصر دوره فقط في نقل الحمض النووى المعدى للفاج من خلية بكتيرية لأخرى ما لوحظ من أن الفاجات المنزوع غلافها الخارجى يمكنها أن تصيب الخلية البكتيرية وذلك بعد التخلص من العائق الأساسى لمبروها وهو جدار الخلية ، كما في حالة البروتو بلاست ، وتؤدى مثل هذه العدوى إلى إنتاج جزيئات فاجات مكتملة وطبيعية .

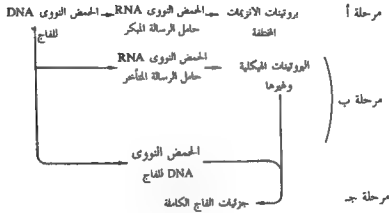
إنتاج خلفة الفاجات الجديدة :

يعمل دخول الحمض النووى للفاج إلى داخل الخلية البكتيرية على تثبيط كامل لعملية تمثيل الحمض النووى والبروتينات الخاصة بالخلية ، وبدلا من ذلك تقوم أجهزة التمثيل الغذائى في الخلية بتمثيل مركبات الفاج عديدة البلمرة بناء على الشفرة الموجودة في الحمض النووى للفاج . وهنا يمكن تمييز ثلاثة مراحل :

١ - تحت تأثير من أنزيم RNA Polymerase الخاص بخلية العائل ينسخ جزء من الحمض النووى للفيروس إلى الحمض النووى RNA حامل الرسالة ويؤدى تكون هذا الحمض المبكر إلى ترجمته بواسطة ريبوزومات خلية العائل وإنتاج مايسمى بالبروتينات المبكرة والتي تعتبر من أهم الأنزيمات لتكاثر الفاج ، فعلى الرغم من اعتماد الفيروس في تكاثره أساسا على أنزيمات الخلية البكتيرية الموجودة أصلا بها عند حدوث العدوى ، إلا أنه يحتاج أنزيمات إضافية تتكون تحت تأثير الحمض النووى للفيروس ، والتي تعتبر أساسية أو منشطة لتضاعف الحمض النووى للفيروس فيما بعد . فعلى سبيل المثال نجد أن فاجات T تحمل شفرات وراثية خاصة بتخليق ما يعادل عشرون أنزيمًا من هذه الأنزيمات المبكرة . ولكن يجب التأكيد هنا على أن هذه البروتينات ليست من التراكيب الأساسية للفاج ، ولا توجد مصاحبة لجزيئات الفاج المكتملة .

٢ - تشتمل المرحلة الثانية على إنتاج البروتينات الأساسية والحمض النووى للفاج . ولقد رأينا أن فاجات T ذات تركيب معقد وأن العديد من البروتينات المختلفة التركيب يلزم تمثيلها . وهذه البروتينات المتأخرة في تكوينها تستنسخ تحت تأثير بعض المناطق في جينوم الفاج والتي لم يسبق التعبير عنها في المرحلة السابقة . وفي نفس الوقت تقريبا تتكون الكميات الجديدة من محتوى الفاج النووى . وبهذا يكون قد تم إنتاج كل المكونات الضرورية لبناء جزيئات الفاج الحديثة .

٣ - وتمثل المرحلة الأخيرة تجميع مكونات الفاج . ولا يحدث مثل هذا التجميع عشوائيا في مراحل الزمنية المختلفة ولكنه يتم بناء على خطوات متتالية وب نظام تشكيلي ورائي دقيق . حيث تتكثف جزيئات الحمض النووي للفاج تحت تأثير أحد البروتينات المتكونة في مرحلة متأخرة ، والتي تسمى بالعامل المكثف ، في حين أن الوحدات التركيبية لغلاف الفاج البروتيني تتجمع ذاتيا بطريقة مماثلة لعملية التبلور مكونة في النهاية رأس الفاج الفارغة ، عندئذ يمر الحمض النووي إلى الرأس لتتألف . وبطريقة مماثلة تتم العمليات الهامة لتجميع ذيل الفاج و خيوطه والتي تلتحم بعد ذلك مع رأس الفاج مكونة جزيء الفاج الكامل . وهنا يلزم الإشارة إلى أن مجموعة من الجينات المتخصصة ه المسؤولة عن حدوث عملية التجميع بطريقة منتظمة وعلى التوالي .



التحلل والانطلاق من خلايا العائل :

يصاحب عملية تخليق الفاجات الحديثة بداخل خلايا العائل تكون أحد بروتينات الفيروس المتأخرة في سيتوبلازم الخلية والتي لها فعل مشابه لفعل انزيم الليزوزيم الموجود بذيل الفاج . ويحفز هذا الانزيم حدوث عملية تحلل مائي لطبقة السكريات الببتيدية الموجودة في جدار الخلية مما يؤدي إلى إضعاف صلابة الجدار وفي النهاية تنفجر الخلية تحت تأثير الضغط الاسموزي المرتفع بداخلها . وعلى هذا نجد أن خلافة الفاجات الجديدة تنطلق حرة في الوسط المحيط ، حيث تسعى لإصابة خلايا جديدة وتعيد الكرة ثانية .

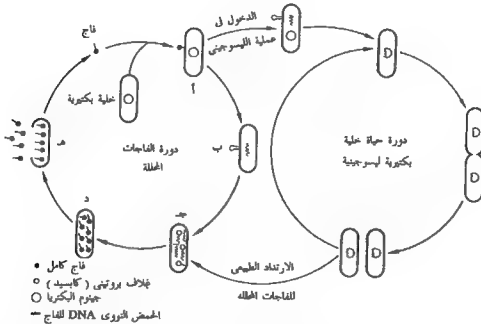
وعلى الرغم من أن دراسة تكاثر الفيروسات قد تتبعناه لأكثر المفاجآت تعقيدا والمحتوية على الحمض النووي من النوع DNA فإن مراحلها تطبق بصفة عامة على غيرها من الفيروسات عامة . ومع هذا فإن الفيروسات التي تحتوي على حمض نووي من النوع RNA تستلزم وجود ميكانيكية خاصة لتكاثر الحمض النووي عن طريق عملية النسخ ، بمعنى أن الحمض النووي RNA للفاج يسلك مسلكا مماثلا للحمض النووي من النوع DNA حيث يعمل على مضاعفة نفسه ، وفي الوقت ذاته يعمل كما لو كان حمض نووي RNA حامل للرسالة ، وهناك أيضا بعض الاختلافات المتعلقة بالطريقة التي يدخل بها الحمض النووي لمثل هذا النوع من الفيروسات إلى داخل خلية العائل . فعلى سبيل المثال بالنسبة للفيروسات النباتية البسيطة لا توجد أية طرق متخصصة لادمصاص جزيئات الفاج ودخولها للخلية ، ولكن اختراقها يحدث عبر الكسور والجروح المتواجدة على أسطح النباتات بفعل الحشرات ، وتنتقل الفيروسات الحيوانية إلى داخل خلية العائل بواسطة عملية الابتلاع أو الارتشاف وعندئذ يبدأ الحمض النووي في التحرر من الغلاف المحيط به . وتتطلق الفيروسات الحيوانية من خلايا العائل بطريقة عكسية لما يحدث أثناء عملية الارتشاف .

ومهما بلغت درجة إتقان عملية تكاثر الفيروسات فإنها تختلف اختلافا واضحا عما يحدث بالنسبة للكائنات الخلوية ، حيث تحتفظ الخلية بذاتها حتى عند تطفلها داخل خلايا أى عائل . بمعنى آخر تقوم الفيروسات بما يسمى بعملية التطفل الوراثي عن طريق فرض سيطرتها وغلبتها على الحمض النووي والجهاز التمثيلي لخلايا العائل . ولعل هذه الصية بالإضافة إلى كون الفيروسات تختلف اختلافا مميزا في تركيبها ، مع افتقارها لجهاز التمثيل الغذائي ، وعدم وجود أى تركيب حتى آخر كحلقة اتصال فيما بينها وبين الخلايا ، كل هذا يؤدي إلى الاعتقاد بأن هذه الفيروسات نشأت أصلا عن طريق الارتقاء في نشأة الحمض النووي وتطوره إلى كائن له القدرة على التضاعف ذاتيا ، ولم تنشأ بطريقة عكسية أى بتحول الخلايا وتخصصها تدريجيا إلى الأشكال الحية الأكثر تطفلا . فعلى سبيل المثال من الممكن أن تنصور استقلال أحد الكروموزومات أو جزء منه أو أحد الريبوزومات بحيث تصبح متحررة ؛ ولا تخضع لأجهزة التحكم في الخلية . ومما يؤكد مثل هذا التصور أن بعض الفيروسات — وتحت ظروف معينة — يمكنها أن تندمج داخل خلية العائل بحيث تتكاثر معها تلقائيا ، وتسمى مثل هذه العملية للبكتريوفاج بعملية اليلسوجيني .

الليسوجيني :

تؤدي الفاجات الفتاكة فور دخول حمضها النووي خلية العائل إلى حدوث سلسلة من الأحداث التي لارجعة فيها ، مسببة في النهاية تحلل الخلية البكتيرية وانطلاق الخلفة الجديدة من الفاجات ، ولكن يوجد هناك عملية بديلة تقوم بها العديد من الفيروسات ، حيث تعمل بعد دخول حمضها النووي إلى خلية العائل على الاندماج مع الهيكلة الجينية للخلية ، بل يحدث لها تضاعف مصاحب لتكاثر الخلية ولفترة من الزمن . وعلى ذلك توجد في صورة كامنة تسمى بالبروفاج أو الفاج الأولى (شكل ٦ - ٤) . ويطلق على مثل هذه العلاقة الناشئة بين الفيروس والبكتريا بعملية الليسوجيني ، وتسمى هذه الفاجات التي يمكنها الدخول في مثل هذه العلاقة بالفاجات المعتدلة ، وذلك للفرقة فيما بينها وبين الفاجات الفتاكة التي سبق الحديث عنها . ويمكننا أن نستدل على أن الفاج الأولى يتكاثر متزامناً مع خلية العائل بدليلين :

١ - يحدث من آن لآخر وعن طريق الصدفة تحول الفاج إلى الصورة الفتاكة مستأنفاً دورة التحلل ، ويمكن زيادة نسبة حدوث هذه العملية بواسطة استخدام بعض المواد المحيطة على ذلك .



(شكل ٦ - ٤) دورة التحلل الناشئة عن الملوئ بالفاجات فتاكة وحالة الليسوجيني الناتجة عن الإصابة بالفاجات المعتدلة .

٢ - غالباً ماتتغير بعض الصفات المظهرية للخلية البكتيرية عند تكون البروفاج بداخلها ، وبصفة خاصة نجد أن مثل هذه الخلايا تكتسب مناعة ضد الإصابة مرة أخرى بهذا النوع من الفاجات أو الفاجات القريبة منها . كما قد تحدث تغيرات أكثر تخصصاً ، وهذه التغيرات يتضح أهميتها إذا ما أدركنا أن جزء كبير من البكتريا في الطبيعة توجد في حالة ليسوجينى . فعلى سبيل المثال نجد أن التركيب الكيميائى للأجسام المولدة للمناعة قد يتغير مع وجود البروفاج في الخلايا . ففى البكتريا المسببة لمرض الدفتريا وجد أن قدرته على أحداثها للمرض ودرجة سميتها ترتبط مع دخولها في حالة الليسوجينى . ومن الأسئلة الهامة في هذا المجال هو إلى أى مدى يكون حدوث مثل هذا الارتباط بين الفيروس وخلايا المائل بأنواعها المختلفة . فهناك من الأدلة ما يشير إلى أن الفيروسات قد تسبب حدوث مرض السرطان عن طريق اندماجها في الخلية الحيوانية ، وبذلك تعمل على تحويلها إلى خلية سرطانية ، ومع ذلك فإننا لانعلم الكثير عن مدى مسئولية الفيروسات في إحداث مرض السرطان بصفة عامة .

الكائنات الحية الدقيقة والفيروسات :

قد تصاب غالبية الخلايا الميكروبية ذات النواة البدائية بنوع أو آخر من الفيروسات ، والبعض من هذه الفيروسات البكتيرية يتميز بتركيب معقد مماثل لفاجات T ، في حين أن البعض الآخر يكون بسيطاً في تركيبه حيث يتكون من رأس فقط تأخذ شكلاً شبه مستديراً بينما تأخذ القلة أشكالاً خيطية . وهناك بعض الفيروسات التى تستطيع إصابة الطحالب الخضراء المزرقة ، والتى تأخذ أشكالاً شبيهة بالفاجات . ولكن لم يعرف حتى الآن مدى إمكانية إصابة الفيروسات للخلايا الحقيقية النواة ؛ والحالة الوحيدة المعروفة حتى الآن والمؤكدة هو إصابة بعض الفيروسات للفطريات . فعلى سبيل المثال قد تسبب هذه الفيروسات بعض المشاكل لعمليات إنتاج فطريات عش الغراب . والسبب وراء مقاومة الطحالب ومعظم الفطريات والبروتوزوا للعنوى بالفيروسات غير معروف حتى الآن ، والذي قد يعزى للافتقار إلى الأبحاث الجادة في هذا المجال . ومع ذلك فهناك قليل من الشك حول عدم قدرة الفيروسات على إصابة الخمائر لأن مثل هذه الإصابة لو حدثت لأمكن ملاحظتها في الصناعة .

الفصل السابع

وراثة الكائنات الحية الدقيقة

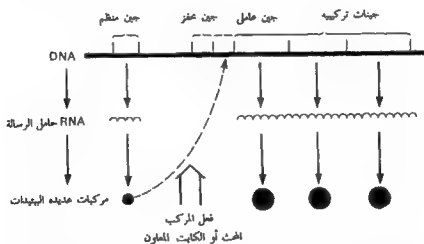
لقد حدث خلال الربع الأخير من هذا القرن تحول كبير في مفهومنا لوراثة الكائنات الحية الدقيقة ، خاصة فيما يتعلق بالبكتريا . حيث تم تنفيذ رأى المدرسة التى تنادى بتعدد أشكال الميكروبات ورجوعها جميعا فى الأصل لميكروب واحد ، وذلك أثر النجاح فى الحصول على العديد من المزارع النقية ، ومع ذلك فقد ظلت وجهة النظر الأولى هذه باقية لفترة على الرغم من معارضتها لطبيعة اختلاف صور الحياة عموما ، ومع وجود العديد من الملاحظات المضادة لها ، بل لقد تشكك الكثير فيما إذا كانت البكتريا تحتوى على نواة وكروموزومات وجينات . ولعل السبب فى ذلك كان الصغر المتناهى فى حجم الكائنات الحية الدقيقة ، والذي يستلزم التعامل مع كثافة عددية هائلة من هذه الكائنات . والآن أصبحت الميكروبات من الكائنات التى تحظى بالاختيار لاستخدامها فى دراسة العديد من المشاكل الأساسية فى علم الوراثة ، كما أنها أسهمت بنور بالغ الأهمية فى تطور وتفهم التوارث على المستوى الجزيئى . فقد أسهمت المشاهدات على فطر *Neurospora crassa* فى التوصل إلى معرفة أن الجينات هى وسيلة التحكم فى التخليق المتخصص للبروتينات ، وفى النهاية أدت إلى صياغة النظرية التى تمثلها المعادلة :

جين واحد = أنزيم واحد

ثم استخدمت البكتريا ومنها على وجه الخصوص *Escherichia coli* فى تحديد أكثر عمقا لهذه العلاقة . بمعنى :

الحمض النووى DNA للجين (سيسترون) = جزيء واحد من عديد الببتيدات
وتتم هذه العملية من خلال تكون مركب وسطي هو الحمض النووى RNA الحامل
لرسالة عن طريق شفرة وراثية تعتبر عامة لكل الكائنات الحية .

وعلى هذا فإن أغلب الجينات تقوم بإنتاج مركبات عديدة الببتيدات خاصة ، والتي تعمل مباشرة ، أو بعد اتحادها بعديدات ببتيديات أخرى مكونة انزيمات أو بروتينات تركيبية . وتسمى مثل هذه الجينات بالجينات التركيبية . ولقد ذكرنا فيما سبق أن البكتريا قادرة على التحكم في إنتاج البروتينات المتخصصة بواسطة عمليات مختلفة مثل الحث والكبت (انظر صفحات 108-109) . وبدراسة مثل هذه العمليات اتضح أن الجينات التركيبية التي تتحكم في تخليق البروتينات المتقاربة فسيولوجيا عادة ماتتواجد في صورة متجمعة على الكروموزوم ، ويطلق على مثل هذه المنطقة بالأوبرون . ويُنتج كل من هذه الأوبرونات المتعددة الجينات جزئى وحيد من الحمض النووى RNA الحامل للرسالة بواسطة عملية النسخ ، والتي يتحكم فيها الجين العاملى الموجود على أحد طرفى الأوبرون ، حيث يبدأ النسخ عند اتحاد انزيم بلمرة الحمض النووى RNA مع الجين المحفز ، والذي يوجد مجاورا لهذا الجين العاملى ويتم التحكم فى عمل الجين العاملى نتيجة لفعل مركبات عديدة الببتيدات ينتجها جين آخر يسمى بالجين المنظم (انظر شكل ٧ - ١) . والفعل الأساسى للمركبات عديدة الببتيدات المنظمة ، هو اتحادها مع الجين العاملى وبهذا يمنع اتحاد أنزيم بلمرة الحمض النووى RNA مع الجين المحفز ، وبهذا يعمل على تثبيط عملية إنتاج الحمض النووى RNA الحامل للرسالة وبالتالي وقف تكون البروتينات التى يعتبر هذا الأوبرون مسئولاً عن إنتاجها . وبمعنى آخر فإن التحكم يكون عملية سلبية ولو أن هناك بعض الأمثلة للتحكم الإيجابى والتي يمكن التعرف عليها .



(شكل ٧ - ١) أنواع الجينات المنظمة في الكائنات الحية الدقيقة البدائية التواء وطرق التحكم فيها . يعمل المركب الحث أو الكابت على ناتج عمل الجين المنظم بالطريقة التى سبق شرحها في صفحات 108 , 109 .

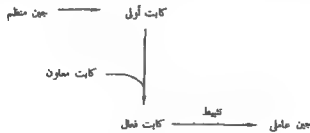
الحث :

يعمل مركب عديد الببتيدات الذى ينتجه الجين المنظم على تثبيط فعل الجين العاقل
إلا أن المركب المحث يرتبط بصفة خاصة مع عديد الببتيدات المثبط وبذلك يمنع من
اتحاده مع الجين العاقل مما يؤدي إلى استئناف عملية إنتاج البروتينات المستحثة .



الكبت الناشئ عن النواتج النهائية :

نجد أن مركب عديد الببتيدات أو الكابت الأولي ، والذى ينتجه الجين المنظم ليس له
أى تأثير على الجين العاقل ، إلا بعد أن يتحد بصفة خاصة مع المنتج النهائى أو مادة
أخرى تسمى بالكابت المعاون ، وبالتالي يعمل على إيقاف عملية تخليق البروتينات .
وهناك مثالان لتوضيح كيفية التحكم فى عملية تمثيل البروتينات والتي تعتبر نموذجا
لدراسة ماهية النظام المحتمل حلوله فى الكائنات الحية الراقية . ومع ذلك فإن سرعة
الاستجابة للمنبهات والمؤثرات البيئية المختلفة يعتمد على مدى ثبات جزيئات الحمض
النوى RNA حامل الرسالة ، فنجد أنه فى البكتريا لا يتجاوز عمر مثل هذه الجزيئات
3-2 دقائق مما يساعد على سرعة التغير والتبدل فى اتجاه عملية تمثيل البروتينات .
وقد تعتبر مثل هذه الميكانيكية مسفولة عن بدء أو وقف عملية تمثيل البروتينات أثناء



عملياتي التجزئ والإنبات (صفحة 43) وغيرها من عمليات التمييز الوظيفي الأكثر تطوراً وتعقيداً . ومثل هذه الدراسات الوراثية على المستوى الجزيئي أصبحت معروفة جيداً ، ولو أنها أصبحت ممكنة فقط مع إمكانية الحصول على طفرات مناسبة ، وباستخدام طرق متعددة لإحداث اتحادات وراثية جديدة في الكائنات الحية بدائية النواة .

وسوف يعنى هذا الفصل من الكتاب بالطفرات والاتحادات الوراثية الجديدة .

طفرات الكائنات الحية الدقيقة :

لقد تبين أن الطفرات الوراثية الكبيرة في خصائص البكتريا تعزى أساساً إلى حدوث الطفرات وانتقائها . وفيما يلي أهم الأمثلة في هذا المجال .

١ - طفرات العوز الغذائى :

لقد لاحظنا أن العديد من الكائنات الحية الدقيقة مثل *Escherichia coli* يمكنها النمو في منابت معملية تحتوى على مصدر واحد للكربون والطاقة . ويطلق على مثل هذه الميكروبات بالكائنات أولية التغذية . وعند حدوث طفرة تؤدي إلى فقد الميكروب للمقدرة على تمثيل أحد نواتج التمثيل الغذائى الهامة مثل الأحماض الأمينية أو المواد المنشطة للنمو فإن ذلك ينتج عنه احتياج هذه الميكروبات في تغذيتها إلى تواجد مثل هذه المركبات ، عندئذ يطلق على هذه الطفرة بطفرة العوز الغذائى . ولقد استخدمت مثل هذه الطفرات كأساس في التجارب الوراثية وذلك كوسيلة لتوضيح العلاقة فيما بين الجينات والأنزيمات وكذلك لاكتشاف مسارات التمثيل الغذائى المختلفة .

٢ - الطفرات المقاومة :

قد تنشأ مناعة الخلايا الميكروبية لفعل المضادات الحيوية المختلفة والفاجات نتيجة لانتخاب الطفرات المناسبة . ومن المحتمل أن يترتب على مثل هذه المناعة المكتسبة عواقب وخيمة نظراً لأن المقاومة لفعل أحد المضادات الحيوية قد لا يؤدي إلى استمرار استخدام مثل هذه المواد الكيميائية في علاج العدوى بالميكروبات .

٣ - الطفرات المؤدية إلى تغيرات في المركبات عديدة البلمرة الموجودة على أسطح الخلية :

من السهل التعرف على طبيعة التغيرات الناشئة في الطبقات الموجودة على أسطح الخلية ، حيث أنه ينتج عن مثل هذه التغيرات اختلاف في شكل المستعمرات الميكروبية المتكونة على أسطح المناهب الصلبة . فعلى سبيل المثال نجد أن ميكروب *Pneumococcus* المعزول من شخص مصاب بمرض الالتهاب الرئوى ينتج مستعمرات مخاطية لزجة نظرا لتمثيل الخلايا لكبسولة مكونة من مركبات عديدة السكريات تحيط بالخلية . ويؤدى استمرار زراعة هذه السلالات معمليا إلى انتخاب طفرات ذات مستعمرات غير منتجة لمثل هذه الكبسولة المعقدة ، وليس لها القدرة على إحداث المرض . بمعنى أنها تصبح غير معدية ، وهذا ناشئ عن الفقد نتيجة للطفرة لأحد الأنزيمات المسؤولة عن تمثيل عديدات السكر خارجها على سطح الخلايا .

وهذه بعض الطفرات التى يمكن العثور عليها فى كل من الطبيعة والمعمل ومن المعلوم أن معظم الجينات قابلة لحدوث طفرات بها وبمعدلات متقاربة . ولكن قد يكون من الصعب التعرف على مثل هذه الطفرات وعزلها . والسؤال الهام الذى يطرح نفسه هنا والذى قد أخذ أبعادا فلسفية فى الماضى ، هل كانت له انعكاسات سياسية هامة هو ما إذا كانت هذه الطفرات تحدث ذاتيا أو تحت تأثير توجيه معين ؟ ولتأخذ على سبيل المثال الطفرة المؤدية إلى مقاومة مركب البنسلين والتى لسوء الحظ قد يتم العثور عليها من الناحية الطبية وبصورة شائعة . والسؤال هل تتدخل مركبات البنسلين ذاتها فى عملية حدوث مثل هذه الطفرات ؟ أم أنه ببساطة تعمل على انتخاب طفرات حدثت بصورة تلقائية ؟ والتحليل الرياضى لعمليات حدوث الطفرات قد أظهر أن مثل هذه العمليات تحدث حقيقة بصورة تلقائية ، كما أن استعمال بعض الوسائل العملية المتخصصة قد سهل الحصول على طفرات مقاومة للبنسلين دون تعريض الخلايا لمركبات البنسلين . وعلى الرغم من أن طفرات الكائنات الحية تعتبر ذاتية وغير موجهة فإن استعمال بعض المطفرات مثل الأشعة فوق البنفسجية والأشعة المؤينة وبعض المواد الكيميائية مثل حمض النتروز والمركبات المشابهة للنيتوكليتيدينات تساعد على حدوث الطفرات بمعدلات مرتفعة عامة .

تعرض الفيروسات لحدوث الطفرات فقط عندما تكون نامية بداخل خلايا العائل ؛ حيث أن الحمض النووى الموجود داخل جزيئات الفيروس الكاملة يكون محميا من فعل معظم المواد المطفرة .

الطفرات والتأقلم الميكروبي :

من الممكن حدوث عملية النشوء والارتقاء كما أوضحها العالم دارون من خلال انتقاء طبيعي للطفرات بواسطة الوسط البيئي ومن خلال تبادل الجينات الذي يتم أثناء حدوث اتحادات وراثية جديدة - وذلك يتم بسرعة فائقة بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة . وعلى الرغم من أن معدل حدوث الطفرات مماثل لما يحدث للكائنات الراقية ، إلا أن هناك العديد من العوامل التي تجعل التطور أسرع بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة ومنها :

١ - تحتوي معظم الكائنات الحية الدقيقة سواء كانت بدائية أو حقيقية النواة على عدد أحادي من المجموعة الكروموزومية ، مما يجعل حدوث الطفرة لا يتم حجباً بواسطة الجين الأليل .

٢ - نظراً لأن الكائنات الحية الدقيقة وحيدة الخلية ، فإن أي خلية يحدث لها طفرة ينشأ عنها فرعاً وراثياً جديداً .

٣ - من الممكن أن تتواجد الكائنات الحية الدقيقة بكثافة عديدة عالية نسبياً في أوساط بيئية معدة للنمو ، مما يعطي فرصة جيدة لنمو وسيادة الطفرة في مثل هذا الوسط البيئي المناسب لها .

٤ - تنمو الكائنات الحية الدقيقة بسرعة كبيرة كما أنها من الممكن أن تتعرض لضغوط انتخائية عالية . لذا عند تنمية أحد السلالات البكتيرية الحساسة للبنسلين على منابت محتوية على هذا المركب ، نجد أن الطراز البري لا يتمكن من النمو في حين نجد أن أي طفرة مقاومة للبنسلين تتكاثر وتحتضنها حتى الصباح تكون مجتمع السيادة . بمعنى أن عملية التطور فيما يتعلق بخاصية المقاومة للبنسلين لا تستغرق سوى فترة قليلة بين عشية وضحاها .

ونتيجة لقدرة الكائنات الحية الدقيقة على سرعة التأقلم - خاصة بالنسبة للخلايا بدائية النواة - فإنها تتمكن من مواصلة نفسها لمجموعة كبيرة من التغيرات البيئية (انظر الفصل الخامس) . ومن النتائج المترتبة على ذلك والتي تؤدي إلى الارتباك أن مثل هذه الميكروبات يمكنها أن تتغير أثناء زراعتها على منابت معملية . فالظروف الموجودة في مثل هذه المنابت المعملية غالباً ماتكون مختلفة لدرجة كبيرة عن الظروف الطبيعية التي تعيش فيها هذه الميكروبات ، وبتكرار زراعتها مرات قليلة على المنابت المعملية قد يكون كافياً

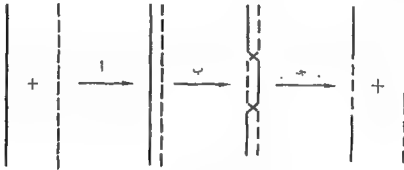
لانتخاب سلسلة من الطفرات التى تتواءم مع ظروف النمو تحت مثل هذه الظروف المعملية . ولقد تعرضنا فيما سبق لما يحدث لبكتريا *Pneumococcus spp* والتى تفقد فى وقت واحد كلا من قدرتها على إحداث الالتهاب الرئوى وإنتاج المواد المخاطية المحيطة بالخلية (صفحة 131) ويفترض أن الخلايا غير المخاطية تنمو بصورة أفضل تحت الظروف المعملية فى حين أن الخلايا المزودة بالمواد المخاطية يتم انتخابها فى داخل خلايا الحيوان المصاب نظرا لأنها غير معرضة لعملية الانتقام (صفحة 54) . ويجب أن يوضع فى الاعتبار أن المستعمرة البكتيرية الواحدة تحتوى على أعداد كبيرة من الخلايا تصل إلى المائة مليون 10^8 وأن الخلية البكتيرية الواحدة تحتوى على 10^9 جين على الأقل والتى قد يتعرض كل منها لحدوث الطفرة بمعدل يقرب من 1×10^{-8} لذا فإن المستعمرة الواحدة من البكتريا قد تحتوى على حوالى ألف طفرة على الأقل . بمعنى آخر نجد أن الحصول على المزرعة النقية لا يمثل إلا خيالا وإهما مما يسبب الحيرة البالغة لعلماء الميكروبيولوجيا . حيث يعمل كل وسط يئى معين على انتخاب الطفرات التى لها القدرة على النمو بمعدلات سريعة ، أو التى تموت بمعدلات أبطأ فى ظروف هذا الوسط والذى على أثره يمكن للمزرعة أن تظل فى حالة ثابتة ، وعلى الرغم من أن العديد من هذه التغيرات التى تحدث فى النبات المعملية قد تكون محدودة وضئيلة ولا تؤدى إلى حدوث أية تغيرات واضحة ومميزة إلا أنها قد تكون هامة عند الرغبة فى تطبيق نتائج التجارب المعملية على مايم من أحداث فى الأوساط البيئية الطبيعية . ولكن ما هى الوسائل التى يمكن اتباعها للحد من حدوث مثل هذا الانتخاب فى المعمل ؟ والإجابة أن كل ما يمكن عمله هو اختيار الظروف البيئية التى تحاكي بقدر الإمكان الظروف السائدة فى الطبيعة أملا فى الحد من هذه التغيرات ، وكحل بديل يجب بقدر الإمكان تجنب توالى زراعة الميكروب معمليا بحفظه فى حالة غير نشطة بطريقه التجفيد أو بحفظ الميكروب فى مزارع تحت درجة حرارة النتروجين السائل ، ولو أن الميكروبات ليست كلها قادرة على البقاء حية تحت مثل هذه الظروف .

الاتحادات الوراثية فى الكائنات الحية الدقيقة :

أولا - الاتحادات الوراثية فى الميكروبات بدائية النواة :

لقد لاحظنا أن التغيرات الوراثية التى تنتج عن حدوث الطفرات قد تؤدى إلى اكتساب صفات حيوية جديدة مما يسمح بحدوث تغيرات تطوريه ، ومع ذلك فإن

نشوء الكائن الحي المكفأ في وسط يعنى ما يمكن أن يساهم في حدوثه انتقال الجينات فيما بين ميكروب وآخر ، وذلك عن طريق حدوث اتحادات وراثية جديدة . وتحدث مثل هذه الاتحادات الوراثية الجديدة في الكائنات بدائية النواة بصورة أقل تطوراً عن نظيراتها في الكائنات الحقيقية النواة ، بالإضافة إلى أنها تحدث بطريقة متقطعة وعشوائية ، ولا تشتمل على اندماج شامل فيما بين جاميطات مذكرة ومؤنثة لتكوين زيجوت ثنائى المجموعة الكروموزومية . ولكن بدلا من ذلك يتم في هذه العملية انتقال بعض الجينات من خلية واحدة ليحدث في النهاية تضاعف كروموزومى غير كامل كما هو مبين في شكل (٧ - ٢) . وتوجد ثلاثة طرق يتم بواسطتها انتقال الجزء من الحمض النووى DNA وذلك من الخلية الواحدة إلى الخلية المستقبلية : التحويل الوراثى ، الاستقطاع ، التزواج (شكل ٧ - ٣) .

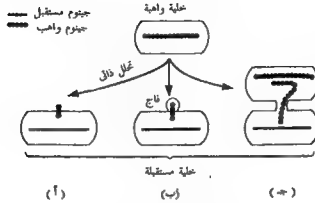


كائنات حقيقية النواة



كائنات بدائية النواة

(شكل ٧ - ٢) عرض مبسط للاتحادات الوراثية التى تحدث فى كل من الكائنات الحية الدقيقة الحقيقية والبدائية النواة بالنسبة لأفراد المجموعة الأولى تجمع مجموعتي الكروموزومات الاحادية - مجموعة من كل أب - فى النواة الثنائية المجموعة الكروموزومية (أ) وفى مراحل معينة قبل الانقسام الميوزى تحدث عملية العبور الوراثى فيما بين المجموعتين (ب ، ج) لتكون فى النهاية خلايا ذات مجموعة كروموزومية احادية تتميز باعادة توزيع جيناتها . أما فى الخلايا بدائية النواة فترتبط قطعة من الحمض النووى DNA بهيكلتة المتابله لها فى الخلية المستقبلية (أ) وينتج عن عملية العبور استئصال هذا الجزء للخلل من الحمض النووى .

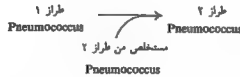


(شكل ٧ - ٣) :

طرق حدوث الاتحادات الوراثية في خلايا الكائنات الحية بدائية النواة (أ) التحول الوراثي ، (ب) الاستطعام (ج) التزاوج .

١ - التحول الوراثي :

تم اكتشاف هذه الطريقة خلال أحد التجارب الهامة في مجال البيولوجيا الجزيئية . فقد لاحظنا أن قدرة بكتريا *Pneumococcus* spp. على إحداث المرض ترتبط بمقدورها على إنتاج كبسولة خارجية من عديدات السكر (صفحة 133) . ويتم تقسيم هذه البكتريا إلى العديد من الطرز التي تختلف تبعا للطبيعة الكيميائية لعديدات السكر المكونة للكبسولة ، وبالتالي بالنسبة للإنزيمات المتخصصة في تمثيل مثل هذه المركبات . ولقد وجد أنه من الممكن حدوث تحول وراثي لأحد طرز هذه البكتريا إلى طراز ثان وذلك إثر إضافة المستخلص الناتج من مزرعة الطراز الثاني .



وقد تم تنقية المادة المسؤولة عن حدوث هذا التحول الوراثي من المستخلص المسعول عن حدوث هذه العملية وتبين أنها الحمض النووي DNA وبهذا نجد أن الحمض النووي DNA للطراز رقم ٢ في المثال المذكور قد وجد طريقة إلى داخل خلايا الطراز رقم ١ وأن الجينات المسؤولة عن تمثيل مركبات عديدة السكريات بالكبسولة قد حدث لها اتحاد

ورأى أدى إلى إدخال جينات الطراز ٢ لتحل محل الجينات المقابلة في الطراز ١ . وترجع الأهمية التاريخية لهذا الاكتشاف إلى كونها أظهرت بوضوح أن الحمض النووي DNA هو عامل التورث . بمعنى آخر أن الجينات تتكون من الحمض النووي DNA ولقد أكد ذلك ما اكتشف بعد ذلك من إمكانية تحول الجينات الأخرى لبكتريا *Pneumococcus* وبطريقة مماثلة ومع ذلك يبدو أن مثل هذه الطريقة مقصورة على عدد قليل من أجناس البكتريا ، ومن المحتمل أن يكون العامل الأساسي المحدد لحدوثها يرجع إلى صعوبة دخول جزيء كبير من الحمض النووي DNA إلى الخلية ووصوله إلى النواة . ومن الصفات الهامة التي يجب توفرها في الخلايا التي يتم تحويلها بهذه الطريقة هي إمكانية ارتباط الحمض النووي DNA بسطح الخلية ، وذلك قبل مروره إلى الداخل .

٢ - الاستقطاع :

تمثل هذه العملية التحول الوراثي للخلايا فيما عدا أن الجزء من الحمض النووي DNA الذى ينتقل من الخلية الواهة إلى الأخرى المستقبلية محمولة بداخل أحد جزيئات الفاج ، حيث يقوم الفاج بمهاجمة الخلية الواهة ، ثم أثناء مرحلة تجميع مكونات جزيء الفاج ونضجه يحدث اندماج لبعض جينات الخلية البكتيرية . وبدخول الحمض النووي غير الكامل لجزيئات الفيروس الجديدة إلى الخلية المستقبلية يصبح غير قادرا على التكاثر الذى ينتهى بتحلل الخلية أو الدخول في حالة ليسوجينى ولكن بدلا من ذلك يحدث اتحاد وراثى بين جينات البكتريا المنقولة وبين DNA الخلية المستقبلية .

٣ - التزاوج :

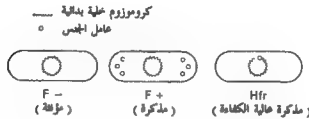
من الضرورى حدوث الاتصال بين الخلايا في هذه العملية ، حيث ينتقل الحمض النووي من الخلية الواهة أو الخلية « المذكرة » إلى الخلية المستقبلية أو « المؤنثة » من خلال زوائد (صفحة 42) تسمى « بالزوائد الجنسية » أو « زوائد F » والتي تعمل كمعبر بين الخلايا . فيمر الحمض النووي DNA من خلال التجويف الموجود في مركز كل من هذه الزوائد ، حيث ينتج عن ذلك انتقال منظم للجينات طبقا لنظام ترتيبها على الكروموزوم ، ولو أنه من الناحية النظرية يمكن انتقال الكروموزوم كاملا ، إلا أن مثل هذا ربما لا يحدث إلا نادرا من الناحية العملية . هذا بالإضافة إلى أحد الصعوبات التي تواجه عملية التزاوج والتي تتمثل في الاختلاف الناشئ بينها وبين عمليتي التحول

الوراثي والاستقطاع التي يمكن خلالها لأي خلية بكتيرية أن تعمل نظرياً كواهة أو مستقبله في حين أنه بالنسبة للتزاوج فهناك بعض الخلايا التي تعتبر مؤنثة والبعض الآخر مذكّر فيما يختص بكونها مستقبله للحمض النووي DNA أو مانحة له . والآن ما الذي يحدد هذه الصورة البدائية من التخصص الجنسي ؟ مما يساعد على إلقاء الضوء في هذا الخصوص التجريبتان التاليتان :

(أ) من الممكن أن تتحول خلية مؤنثة إلى مذكّرة باحتكاكها بالخلية المذكّرة ، حيث تشتمل هذه العملية على مرور عامل معد موجود في الخلية المذكّرة يطلق عليه « عامل الجنس » أو « العامل F » والذي يتكون أساساً من الحمض النووي DNA

خلية مؤنثة (F -) ← خلية مذكّرة (F +)
خلية مذكّرة (F +)

ومن المفترض أن يوجد هذا العامل F في سيتوبلازم الخلايا المذكّرة مثلما توجد الهيمّة الجينية للفاج ، وفي النهاية نجد أن صفة الذكورة هذه في البكتيريا تشابه الإصابة المزمنة بالفيروسات .



(شكل ٧ - ٤) المراحل الجنسية المختلفة لخلايا الكائنات الحية البدائية بدائية التواء

(ب) من الممكن أن يحدث طفرة للخلايا المذكّرة (F +) متحوّلة إلى خلايا مذكّرة « أكثر كفاءة » والتي يرمز لها بالرمز (Hfr) مظهره درجة عالية من الاتحادات الوراثية مع الخلايا المؤنثة . حيث يحدث في مثل هذه السلالات اندماج العامل F داخل كروموزوم الخلية وبالتالي يتضاعف بدوره مع الانقسام النووي للخلية .
و يلخص الشكل ٧ - ٤ هذه المراحل المختلفة .

البلازميدات والاييزومات :

تتكون كل من الفاجات وعوامل الجنس من الحمض النووى DNA مع إمكانية تواجدهما في إحدى الصورتين التاليتين :

١ - توجد على حالة مستقلة ويكون لها القدرة على التضاعف كما هو الحال بالنسبة للفاجات الفتاكة فى الخلايا البكتيرية المصابة أو مثل ما يحدث فى الخلايا المحتوية على العامل (F^+) .

٢ - تواجدها على حالة مندمجة مع الهىة الجينية للخلية كما فى حالة البروفاج (الفاج الأولى) الموجود فى خلية ليسوجينية أو بالنسبة للخللايا ذات الدرجة العالية من الاتحادات الوراثية (Hfr) .

ويطلق اصطلاح « الاييزومات » على مثل هذه العناصر من الحمض النووى DNA والتي توجد فى أى من الصورتين السابقتين . بالإضافة إلى ذلك هناك بعض العناصر الأخرى من الحمض النووى DNA والتي لا تتواجد إلا على هىة مستقلة حيث لها القدرة على التضاعف متمشية مع أطوار انقسام الخلية وذلك كما لو كانت أحد الكروموزومات الثانوية غير الضرورية للخلية ويطلق على مثل هذه التراكيب اسم البلازميدات ، والتي تحتوى على جينات تعتبر غير ضرورية للمعيشة الطبيعية للخللايا ، والتي من أمثلتها الجينات المسؤولة عن المقاومة للمضادات الحيوية المختلفة . وتمثل هذه البلازميدات تهديدا متزايدا لطرق العلاج الطبى بالمواد الكيميائية بدرجة أكبر من الطفرات التلقائية نظرا لأن انتقالها إلى أحد البكتيريا الحساسة قد يؤدى إلى اكتسابها للمناعة ضد العديد من المضادات الحيوية المستعملة حاليا .

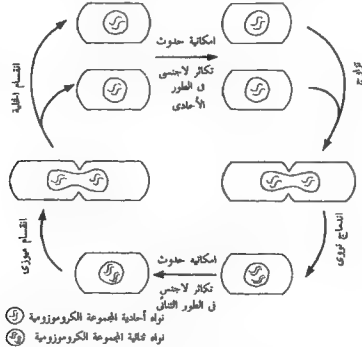
أهمية الاتحادات الوراثية للكائنات بدائية النواة :

السؤال المطروح الآن هو هل تعتبر هذه الاتحادات الوراثية للكائنات الحية هامة فى الطبيعة ؟ أم أنها مجرد مشاهدات وتجارب معملية ؟ ومن المؤكد أن عمليتى التحول الوراثى والتزاوج الوراثى تحدثان فى نطاق محدود بالنسبة للكائنات الحية بدائية النواة . ولكن من ناحية أخرى نجد أن الاستقطاع الوراثى أكثر شيوعا ، حيث أن معظم البكتيريا معرضة للاصابة بالفاجات ، وبالتالي يتعرض العديد منها لعملية الاستقطاع ، ولكن يجب التيقن من أن بعض العمليات النادرة الحدوث نسبيا قد تكون ذات أهمية فيما يتعلق

بتطور السلالات المختلفة . والآن ما قيمة مثل هذه العمليات المختلفة من الناحية العملية ؟ بلا شك أنها قد ساهمت في التطور الكبير لعلم الوراثة الجزيئية ، حيث ساهمت في عمل الخرائط الوراثية ليس فقط للجينات الموجودة على الكروموسومات ، ولكن أيضا في تحديد التركيب الدقيق للجينات وعلاقة مثل هذا التركيب بجزء الحمض النووي DNA ذاته .

ثانيا - الاتحادات الوراثية في الكائنات حقيقية النواة :

تعتبر الاتحادات الوراثية الجديدة في الكائنات الحية الدقيقة الحقيقية النواة عملية جنسية في طبيعتها ، حيث تتضمن ما يحدث خلال الانقسام الميوزي من إنتاج الجاميطات المذكرة والمؤنثة أحادية المجموعة الكروموزومية وباندماج مثل هذه الجاميطات تتكون طرز جديدة ثنائية المجموعة الكروموزومية ، ويعتبر التبادل فيما بين الأجيال الأحادية والثنائية المجموعة الكروموزومية مميزا لمعظم الكائنات الحية الدقيقة حقيقية النواة على الرغم مما تظهره من اختلاف كبير فيما يتعلق بكل من درجة أهمية كل من هذه الأطوار الأحادية أو الثنائية المجموعة الكروموزومية بالنسبة للتكاثر الخضرى



(شكل ٧ - ٥) التبادل فيما بين أجيال الكائنات حقيقية النواة

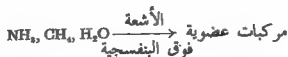
وبمدى ما تظهر من درجة التمييز الجنسي : وعلى هذا فقد يكون الطور السائد في الفطريات إما أحدى أو ثنائى المجموعة الكروموزومية ، أو قد يكون لكل منهما دورا متائلا . وقد توجد أشكال مورفولوجية مميزة لكل من الأطوار المذكورة والمؤنثة ، أو قد يحدث التزاوج الجنسي بين خليتين متشابهتين ناتجتين من نفس المجموعة من الأفراد المتائلة تماما من ناحية التركيب الوراثى (شكل ٧ - ٥)

منشأ الكائنات الحية الدقيقة وتطورها :

يميل الكثير من العلماء إلى الاعتقاد بأن صور الحياة المختلفة على وجه الكرة الأرضية ، قد نشأت أصلا من كائن حى بدائى اكتسب القدرة على التكاث ذاتيا والتطور من حيث المنشأ . ويؤكد ذلك جلليا التماثل بين الكائنات الحية عموما من الناحية الكيموسحيوية والوراثية ، حيث تحتوى جميعها على نفس المجموعة من الأحماض الأمينية والنيوكليتييدات والتي يحدث لها عملية بلمرة متائلة أساسا من حيث الميكانيكية والشفرة المستولة . وعلى هذا إذا ما افترضنا منشأ جميع الكائنات الحية من « كائن حى دقيق » بدائى فما هى طبيعة مثل هذا الكائن ، طريقه تكونه وتطوره ؟ وهنا يكتر التخمين إلا أن هناك بعض الحقائق التي يجدر الإشارة إليها .

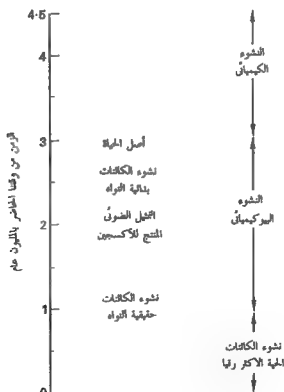
١ - يبلغ عمر الكرة الأرضية 4.5×10^9 عاما ، وقد وجدت في المراحل الأولى العناصر المكونة للكائنات الحية على صور مختزلة . ولهذا كانت عناصر الكربون والأكسجين والنيتروجين يغلب وجودها على هيئة ميثان وماء وأمونيا بينما كان يمثل الأيدروجين العنصر الأساسي في الغلاف الجوى .

٢ - أظهرت التجارب العملية التي أجريت تحت ظروف بيئية مختزلة ومماثلة بقدر الإمكان تواجد مركبات معينة في مثل هذه الحقبة الزمنية (منذ 3×10^8 عاما) وتحت نفس الظروف منها السكريات ، الأحماض الأمينية ، قواعد البيرين والبيريميدين والأحماض الدهنية والتي تكونت جميعها بطرق كيميائية بحتة ، حيث كانت الأشعة فوق البنفسجية هي المصدر الأساسي للطاقة لحدوث مثل هذه التفاعلات والناتجة من الشمس البالغة الشدة آنذاك نظرا للانتقال إلى وجود أشعة الأوزون الماصة لها في طبقات الغلاف الجوى العليا .



وعلاوة على ذلك أوضحت التجارب المتتالية بعدئذ أنه من المحتمل أن تكون هذه الجزيئات العضوية قد تعرضت لعمليات بلمرة مكونة جزيئات أكبر حجما ، وهذا ما أطلق عليه بالنشوء الكيميائي ، والذي قد أدى إلى تراكم المركبات العضوية تدريجيا مكونه مايسمى « بالحاء الأول للحياة » نظرا لعدم تواجد الكائنات الحية الدقيقة التي تستطيع تحليله .

٣ - من فترة ليست بالبعيدة كانت مجرد فكرة الحصول على حفريات للكائنات الحية الدقيقة تعتبر وهما إلا أن فحص القاعات الرقيقة للصخور في وقتنا الحالى قد زودنا ببعض الأدلة الجيدة على وجود حفريات ميكروبية ترجع إلى $10^9 \times 3$ عاما مضت . بمعنى آخر أن الظروف في مثل هذه الحقبة الزمنية من المحتمل أنها كانت ملائمة لنشأة الحياة وذلك من وجهة نظر النشوء الكيميائي الذى سبق وأن وصفناه . ويبدو أن مثل هذه الكائنات الحية الأولى كانت على صورة كائنات حية دقيقة بدائية النواة . أما الكائنات الحية الدقيقة المتطورة حقيقية النواة بما لها من جذر غير عضوية (مثل الدياتومات والفورامينيفرا) فقد ظهرت منذ $10^9 \times 1$ عاما مضت .



(شكل ٧ - ٦) الصور المصغر لنشأة الحياة وتطورها على وجه الكرة الأرضية

٤ - منذ حوالي 2×10^9 عاما مضت بدأ التحول في الغلاف الجوى من الحالة المختزلة إلى المؤكسدة ، حيث بدأت السيادة لكل من غازى الأكسجين والنيتروجين . ويعزى مثل هذا التغير بالتأكيد إلى نشوء الكائنات الحية الدقيقة التى لها القدرة على التمثيل الضوئى ، والتى تتبع غالبا الكائنات بدائية النواة مثل الطحالب الخضراء المزرقة . ويلخص الشكل (٧ - ٦) السلم الزمنى لمراحل التطور المختلفة .

منشأ وتطور الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة :

من الصعب تخيل عملية التطور للكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة ومنشأها من الحساء الأولى للحياة على الرغم من تواجد الوقت الكافى لمثل هذه العمليات آنذاك . وبالتأكيد كانت المرحلة الأولى تتمثل فى نشوء غشاء شبه منفذ يسمح بكل من التركيز والاحتفاظ بالجزيئات الأساسية للخلية . وفى الحقيقة كان من أحد الصفات التى تم التعرف عليها للمركبات عديدة البلمرة أثناء إجراء التجارب العملية المتعلقة بالحساء الأولى ميلها لتكوين كريات غروية ذات أبعاد مماثلة للبكتريا ، والتى أظهرت بعض خصائص النفاذية الاختيارية ويبدو أنه من مثل هذه الكريات قد نشأت بعض الأنظمة التمثيلية البسيطة التى تتميز باحتوائها على وحدات وظيفية لها القدرة على التكاث والتوارث . وفى الحقيقة نحن لنعلم شيئا عن حقبة النشوء البيوكيميائى ، هذا على الرغم من وجود العديد من الأفكار والتخمينات عن حتمية حلولها وبالتالى حتمية تواجد كائنات مشابهة على كواكب أخرى . ومع ذلك فيمكننا وضع تخمينات معقولة لما تم من مراحل التطور المتتالية على هذا الكوكب الذى تتواجد به مثل هذه الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة والتى يمكن استعراضها فيما يلى :

• المرحلة الأولى : نشوء كائن حي غير ذاتى التغذية لاهوائى والذى يحصل على الطاقة اللازمة بواسطة عملية الفسفرة غير الهوائية (على مستوى مادة التفاعل) وعلى احتياجاته الغذائية المعقدة من الحساء الأولى .

• المرحلة الثانية : أدى انخفاض مستوى المواد الغذائية العضوية فى الوسط المحيط نتيجة لاستخدامها بواسطة الميكروبات النامية إلى احتمال نشوء مسارات جديدة للتمثيل الحيوئى مؤدية إلى بساطة الاحتياجات الغذائية .

• المرحلة الثالثة : أدى نشوء نظام لانتقال الالكترونات الى احتمال حدوث عملية الحصول على الطاقة بواسطة الفسفرة التأكسدية والتي تعتبر أكثر كفاءة ، ولكن مع الاعتقاد في غياب الأكسجين يبدو أن حلول التنفس اللاهوائى كان أكثر احتمالا .

• المرحلة الرابعة : احتمال تطور نظام انتقال الالكترونات المتكون في المرحلة الثالثة إلى آخر للحصول على الطاقة بواسطة عملية التمثيل الضوئى خاصة بعد أن رأينا أن كلا العمليتين متشابهتين للدرجة كبيرة . وفي النهاية هناك اعتقاد بنشوء عملية التمثيل الضوئى المنتجة للأكسجين .

• المرحلة الخامسة : بداية ظهور الكائنات الحية غير ذاتية التغذية الهوائية وذلك مع تراكم الأكسجين في الضلاف الجوى يمثل هذه الطريقة تكون قد نشأت الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة مع إمكانية تطورها إلى الطرز العديدة التى نعرفها اليوم .

تطور الكائنات الحية حقيقية النواة :

سبق وأن ذكرنا أن هناك من الأدلة مايشير إلى أن الميتوكوندريا قد نشأت من كائن حى دقيق بدائى النواة متطفل ، وإلى أن البلاستيدات أيضا يرجع منشأها إلى كائن حى دقيق بدائى النواة هوائى يحصل على الطاقة من عملية التمثيل الضوئى مثل الطحالب الخضراء المزرقه (صفحة 47) . وإذا كان الأمر كذلك فإن سلف الكائنات الحية حقيقية النواة في أول نشأتها لابد وأن يكون أحد الكائنات الحية الدقيقة التى تحصل على الطاقة لاهوائيا وبواسطة عملية الفسفرة على مستوى مادة التفاعل من خلال الانحلال الجلايكولى وأن تعايشه مع الكائنات الحية الدقيقة البدائية النواه والمزودة بأنظمة ذات كفاءة عالية في الحصول على الطاقة يعتبر مقيدا وأن مثل هذه العلاقة التكافلية قد تحولت في الغالب إلى أخرى حتمية مؤدية إلى انتقال بعض وظائف النواة البدائية إلى نواة خلية العائل الحقيقية . ثم بالتدرج تطورت الكائنات الحية الدقيقة حقيقية النواة إلى ما نعرفه الآن مع تزايد قدرتها في الارتقاء لصور الحياة المتعددة الخلايا . وبهذا تكون قد نشأت الكائنات الحية الراقية على الرغم من كون الظروف البيئية مواتية في نفس الوقت للكائنات الحية الدقيقة واستمرار تطورها .

الفصل الثامن

العلاقات بين الأحياء الدقيقة والكائنات الحية الأرقى

للكائنات الحية الدقيقة العديد من التأثيرات على الإنسان سواء كانت مباشرة أو غير مباشرة ، كما أن بعضها مفيد والآخر ضار . وكنتيجة لما أظهره العالم روبرت كوخ في القرن الماضي من مقدرة الميكروبات على إحداث الأمراض للإنسان ، فقد ساد اعتقاد بكون الميكروبات ضارة بصفة عامة ، إلا أنه حديثا ظهر بعض الاهتمام صوب بعض التأثيرات الايجابية للميكروبات ، وسوف يعالج هذا الفصل والفصل الذى يليه التأثيرات المتعددة لهذه الميكروبات على الإنسان والمجتمع البشرى .

من الشائع فى الطبيعة أن ترتبط الكائنات الحية الدقيقة بطريقة أو باخرى بعائل ما ، حيث تدخل هذه الكائنات الحية الدقيقة فى علاقات مع غيرها من الكائنات الحية الدقيقة أو الحيوان أو النبات ، وكنتيجة لذلك تحصل على الحماية أو الغذاء اللازمين لها أو غيرها من الفوائد ، [قد لايتأثر العائل من مثل هذه العلاقة (علاقة عدم التبادل) أو قد يستفيد منها (علاقة تبادل المنفعة) أو تلحق به بعض الأضرار (علاقة تطفل)] ، ولكن هنا يجب ملاحظة النقاط التالية بخصوص مثل هذه العلاقات :

١ - يمكن أن نقول أن وجود مثل هذه العلاقة الوطيدة لايمكن أن لايتأثر بها العائل ، وبالتالي يصبح الاصطلاح « عدم التبادل » لامعنى له إلا من ناحية أنه مسألة نسبية .

٢ - قد تكون الحدود فيما بين العلاقة المؤدية إلى تبادل المنفعة وعلاقة التطفل غير واضحة ومحددة . وبالفعل فإن بعض علماء البيولوجى يستخدمون اصطلاح « العلاقة

التكافلية « بفهومها الأساسى وهو « التعايش معا » ، ثم بعد هذا تقسم هذه العلاقة إلى مايسمى بعلاقة تبادل المنفعة (علاقة تكافلية) وعلاقة التطفل . ويندرج تحت علاقة تبادل المنفعة نوعان من العلاقات إحداها منفعة تبادلية داخلية ، حيث يعيش أحد الكائنين المتبادلين بداخل خلايا أو أنسجة الكائن الآخر ، أو منفعة تبادلية خارجية حيث يعيش كل من الكائنين المتعايشين منفصلين عن بعضهما . ومع ذلك فإن ضيق الأفق فى هذا الخصوص قد يؤدى إلى تجزئة العلاقة الناشئة فيما بين الكائنات الحية ، مما قد يعطى أفكارا مزيفة عن العلاقات البيئية الناشئة فى الطبيعة . وعموما فى هذا الكتاب سوف يقتصر استخدام اصطلاح المنفعة المتبادلة وعلاقة التطفل على مفهومها الواسع والشامل .

٣ - يبدو لزاما تقدير المميزات التى تحصل عليها الكائنات الحية الدقيقة عند ارتباطها بأحد العوائل ، وذلك على مستوى مجموعة الأفراد عامة وليس بالنسبة للفرد الواحد .

تبادل المنفعة :

لكى نوضح التدرج من علاقة عدم التبادل حتى علاقة تبادل المنفعة ، فإنه يلزم الحديس عن كل من القناة الهضمية للتدييات وجنور النباتات .

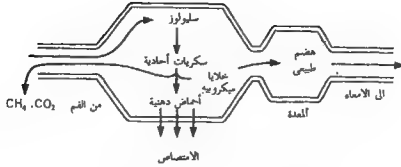
الكائنات الحية الدقيقة والقناة الهضمية للحيوانات التديية :

تتركز معظم الكائنات الحية الدقيقة الموجودة فى القناة الهضمية للتدييات فى كل من الامعاء الدقيقة والغليظة ، وتعتبر الحموضة العالية فى المعدة كافية للحد من نمو بل وموت معظم الكائنات الحية الدقيقة ، ولو أن القليل من أنواع البكتريا المقاومة للحموضة ، قد تتمكن من استيطان جدر المعدة ولكن تأثيراتها على العائل غير معروفة حتى الآن . وبالتجاه صوب الأمعاء الدقيقة فالغليظة وبقية الأحشاء تتزايد أعداد الميكروبات إلى درجة أنها قد تكون مايعادل ثلث وزن المواد البرازية . لذا بطريقة أو بأخرى نجد أن القناة الهضمية للحيوان تمثل المزرعة المستمرة ؛ حيث يعتبر فم الحيوان هو مدخل الغذاء وفتحة الشرج هى نقطة الخروج .

والآن ماهى هذه الميكروبات المعوية وما تأثيرها ؟ من الملفت للنظر أن غالبية هذه الميكروبات لم يتم تسميتها معمليا إلا حديثا ، وقد كان معتقدا أن معظمها لاهوائية اختيارا

مثل *E. coli* التي تغطي بقدر من الشهرة لاستخدامها بواسطة المشتغلين في مجال الميكروبيولوجيا كدليل على التلوث البرازي لمياه الشرب ، حيث أن اعدادها في وحدة الحجم من المياه يعد دليلاً مقبولاً للحكم على امكانية حدوث التلوث . ولكن انصح الآن أن معظم ميكروبات القناة الهضمية تعتبر لاهوائية حتاً ويعمل على قتلها وجود كميات محدودة من الأكسجين الذي غالباً ما تتوفر تحت ظروف التثنية العادية في المعمل ، لذا يلزم استخدام طرق متخصصة لعزلها وتنميتها . وتعتمد هذه الميكروبات اللاهوائية حتاً على الميكروبات اللاهوائية اختياراً في استهلاك ما يوجد من أكسجين في الوسط المحيط . وعلى الرغم من أننا نعرف الكثير عن طبيعة معظم ميكروبات القناة الهضمية للحيوانات ، إلا أن مدى تأثيرها على العائل ذاته غير واضح تماماً . فعلى الرغم مما كان معتقد فيه سابقاً بأن هذه الميكروبات تدخل في علاقة عدم التبادل مع الحيوان ، إلا أن هناك من الأدلة الحديثة التي تخالف ذلك حيث وجد أن بعض « الحيوانات المعقمة » وهي التي يمكن تربيتها وهي خالية تماماً من الميكروبات تنمو غير طبيعي كما أنها تتميز بضعف جهازها المناعي ، وتأخذ قناتها الهضمية شكلاً غير طبيعي أيضاً بالإضافة إلى أنه يلزم لها توفر احتياجات غذائية عديدة بالمقارنة بالحيوانات الطبيعية المنشأ . وقد تلاحظ مثل هذه التأثيرات بالنسبة للانسان كما هو في حالة الأفراد الذين يتم معالجتهم بالمضادات الحيوية الواسعة المفعول ، حيث تعمل على قتل معظم ميكروبات القناة الهضمية ، مما قد يدفع الميكروبات غير المرضية المتبقية إلى إحداث حالات مرضية خطيرة . من هذا يتضح أن ميكروبات القناة الهضمية تلعب دوراً مفيداً ، مما يوصى بعدم التخلص منها .

ومن أشهر الأمثلة الأخرى على علاقة المنفعة المتبادلة كرش الحيوانات المجتررة آكلة العشب مثل الأبقار والأغنام والماعز والتي تستخدم السيلولوز كمصدر غذائي رئيسي ، حيث لايمكن هضم السيلولوز في معدة الحيوان العادية إلا أن القناة الهضمية للحيوانات المجتررة تشتمل على منطقة معينة لهذا الغرض ، وهو مايسمى بالكرش الذي يعد كوعاء كبير للتخمير (يبلغ حجمه حوالى 100 لتر في الأبقار) والذي تدخله الأجزاء النباتية المضغوطة ؛ حيث يتم هضمها بواسطة مجموعة كبيرة من الميكروبات المتعاونة ؛ حيث تقوم بالتحليل المائى للسيلولوز وغيره من السكريات العديدة إلى مكوناتها الأولية من السكريات الأحادية ، والتي يتم تخميرها بعد ذلك إلى أحماض دهنية بسيطة ، وغازى الميثان وثانى أكسيد الكربون ، حيث تمتص الأحماض الدهنية البسيطة من جدر الكرش ، ويستخدمها الحيوان كمصدر للكربون والطاقة في حين تمر الخلايا الميكروبية



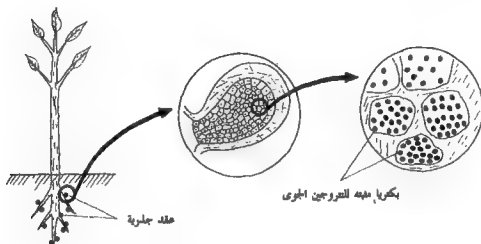
(شكل ٨ - ١) رسم تخطيطي يوضح التجارب الميكروبية في الكرش

إلى المعدة ليتم هضمها بالطرق المعتادة وتمد الحيوان بالعناصر الغذائية الأخرى (مثل الفيتامينات والعديد من البروتينات) اللازمة للنمو . ويلخص الشكل (٨ - ١) هذه العملية ، ومن المدهش حقاً الشبه الكبير فيما بين الكرش والتخمير الحادث في المزارع المستمرة للميكروبات بل أن معظم الأجهزة العلمية المصممة لهذا الغرض مثل الكيموستات تعمل على محاكاة الوظيفة التي يقوم بها الكرش .

الكائنات الحية الدقيقة ودور النباتات :

في العادة لا تقوم أوراق وسيقان النباتات السليمة بتوفير الوسط الملائم للميكروبات بأعدادها الكبيرة . في حين نجد أن الجذور وما يحيط بها من التربة التي يطلق عليها منطقة الريزوسفير ، يوفر بها العناصر الغذائية اللازمة للميكروبات والناتجة عن إفرازات نباتية وحيث لا تتقلب الظروف وتتغير بدرجة مشابهة لما يحدث فوق سطح التربة . لذلك فإن أعداد الكائنات الحية الدقيقة تبلغ في هذه المنطقة عدة مرات أضعاف أعدادها في التربة البعيدة عن تأثير الجذور . وحتى الآن لم يعرف الدور الكامل لميكروبات الريزوسفير وتبدو كما لو أنها في علاقة عدم تبادل مع النباتات . إلا أن هناك بعض العلاقات المحددة التي قد تنشأ في هذا الخصوص كما هو الحال بالنسبة للفطريات التي تغلف جذور النباتات بل وتخترقها في بعض الأحيان والتي تسمى بفطريات الميكوريزا . حيث تساعد هذه الفطريات النبات في النمو خاصة في الأراضي الفقيرة ، حيث تعمل على امتصاص العناصر الغذائية الأساسية عن طريق زيادة أسطح الامتصاص . ولقد لوحظ زيادة نمو أشجار الغابات نتيجة لدخولها مع الفطريات في مثل

هذه العلاقة التكافلية . ومن الأمثلة الصارخة في هذا المجال العلاقة التكافلية التي تنشأ بين بكتريا جنس *Rhizobium* والنباتات البقولية (فول ، برسيم ، بسلة ...) فتصيب البكتريا النباتات عن طريق الشعيرات الجذرية حيث تخترق أنسجتها وتصيب بعض خلايا الجذر الداخلية .



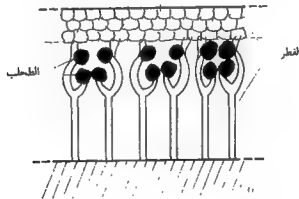
(شكل ٨)

تثبيت النتروجين الجوي تكافليا حيث يلاحظ تكون العقد الجذرية على النبات وأيضا مسعرات تكبير لقطع عرضي في عقده جذرية .

وتتمو بداخلها ، مما يؤدي إلى تضخم الخلايا وانقسامها مكونة في النهاية ما هو معروف بالعقد ، حيث تحتوي كل عقده على مايزيد على ألف مليون خلية بكتريا الريزوبيوم (شكل ٨ - ٢) . وترجع أهمية هذه العلاقة إلى القدرة المشتركة للنباتات والميكروبات على تثبيت النتروجين الجوي (انظر صفحة 113) . ويعتبر هذا النموذج لعملية تثبيت النتروجين الجوي تكافليا في غاية الأهمية بالنسبة للزراعة حيث أن عنصر النتروجين ووجوده بتركيزات مناسبة في التربة يعتبر من أهم العناصر الغذائية المحددة نمو النباتات . وتستطيع المحاصيل البقولية مثل البرسيم تثبيت كميات كبيرة من النتروجين الجوي تعادل 350 كجم للهكتار في الوقت الذي تقوم الميكروبات التي تعيش على حالة حرة في التربة بتثبيت مايقرب من 5 كجم في المناطق الباردة ، أو مايعادل 60 كجم للهكتار كما هو بالنسبة للطحالب الخضراء المزرققة في أراضي المناطق الاستوائية . وسوف يناقش الفصل التالي أهمية عملية تثبيت النتروجين الجوي بالنسبة للورة النتروجين بصفة عامة .

علاقات المنفعة المتبادلة فيما بين الكائنات الحية الدقيقة :

من أهم أمثلة علاقات المنفعة المتبادلة بين الكائنات الحية الدقيقة ، ما يعرف بالآشنيات حيث تعيش الفطريات بمصاحبة الطحالب ، وتسود هذه التراكيبات الآشنية في الأوساط البيئية الفقيرة ، وحيث لا تظهر أى صورة من صور الحياة الأخرى مثل أسطح الصخور وجنوع الأشجار . وينتج عن هذا الارتباط محور كل من الفطر والطحلب حيث تنتج تركيبات معقدة ، يتكون معظمها من هيفات الفطر التى تحيط وتتغلغل طبقات الطحلب ذاتة (شكل ٨ - ٣) . ويستطيع كلا الفردين المتعاونين الانفصال والمعيشة بصورة مستقلة ، ثم يدخل كل منهما في العلاقة التعاونية فقط عند تغير الظروف إلى ما هو أسوأ ، وحيث لا تعتبر ملائمة لمر كل منها على حدة . وتشمل الظروف المعاكسة اللازم توفرها تحت الظروف العملية والتي قد تماثل الأوضاع البيئية التى تتكون عندها الأشنيات نقص المواد الغذائية ، الرطوبة الزائدة والجفاف الشديد على وجه الخصوص . وفي علاقة المنفعة المتبادلة في حالة الأشنيات يعمل الطحلب على إمداد الفطر بالمواد العضوية الناتجة عن قيامه بعملية التمثيل الضوئى ، في حين أن الفطر يعمل على الحماية الفيزيائية للطحلب . وتتميز الأشنيات بمقدرة خاصة على استخلاص المواد الغذائية وانتزاعها من الوسط المحيط ثم تركيزها مما يؤدي إلى إمكانية استخدام هذه الأشنيات كأدلة حساسة لتلوث الهواء ، حيث وجد أن معظم أنواع الأشنيات تُقتل بفعل ملوثات الهواء السامة مما يجعلها غير قادرة على النمو في المناطق الصناعية .



المادة التى تعيش عليها الأشنيات

(شكل ٨ - ٣) قطاع يوضح التركيب الداخلى للأشنيات

التطفل :

ينشأ نتيجة لعلاقة التطفل فيما بين الكائنات الحية الدقيقة والكائنات الراقية دورة مميزة . حيث يخترق الطفيل العائل من خلال مناطق دخول معينة ، ينتج عن هذا الدخول استقرار الطفيل وتكاثره داخل العائل ثم بعد ذلك يحدث انطلاق للخلايا الطفيل - أيضا من خلال مناطق خروج محددة - لإصابة عوائل أخرى جديدة . ولكي نتعرف على العوامل التي تؤثر على مثل هذه العلاقة سوف نتعرض لبعض الأمثلة الواضحة بالنسبة لعدوى الحيوانات حيث تتوفر المعلومات الكثيرة عنها وعن طرق الحماية منها . ولكن يجب ألا يفسر مثل هذا الاختيار بعدم أهمية العلاقات المرضية الأخرى التي يمكن أن تحدث والتي قد يكون لها تأثيرات بيئية واقتصادية هامة .

١ - اختراق العائل :

أعدت النباتات والحيوانات أسطحها الخارجية لتكون حاجزا منيعا ضد نفاذ واختراق كائنات أخرى إلا عند تكسرها نتيجة للجروح الناشئة بها ، أو نتيجة للذغات البهوض كأسلوب متخصص ، ومع ذلك فهناك مناطق بجسم العائل تعتبر أقل حماية ومنفذا سهلا للطفيليات . وتخصص الكائنات الحية الدقيقة في طريقة اختراقها لأجسام الحيوانات ، فمنها الذي يصيب القناة الهضمية أو الجهاز التنفسي أو المسالك البولية . أما في حالة النباتات فإنه يتم اختراقها عن طريق الثغور والعديسات .

٢ - التكاثر :

بمجرد دخول الميكروب إلى المنطقة المناسبة من العائل وبشرط عدم قتله نتيجة لوسائل العائل الدفاعية فإنه يبدأ فعلا في التكاثر . وتمثل قدرة الطفيل على إحداث المرض في مقدوره أولا على اختراق العائل ثم التكاثر فور دخوله مسببا بعض التغيرات الفسيولوجية والتشريحية المميزة للمرض . وتعتبر هذه القدرة على إحداث المرض غاية في التخصص بالنسبة للعائل المصاب ، لهذا فإن معظم الأمراض التي تصيب الحيوانات المنزلية والمستأنسة لا تنتقل إلى الإنسان والعكس صحيح ، والقليل منها الذي قد ينتقل فعلا يؤدي إلى حدوث صورة مخففة من المرض ، وقد استغلت مثل هذه الظاهرة في التطعيم ضد الأمراض المختلفة ومنها مثلا مرض الجدوى ، وذلك باستخدام أحد الفيروسات الشبيهة والتي تصيب الأبقار (جدوى الأبقار) وتقاس القدرة على إحداث

المرض بما يسمى بدرجة الضراوة . وقد لا يحتاج ميكروب ذو قدرة كبيرة على إحداث المرض إلا لخلية واحدة لإحداث العدوى ، في حين قد تحتاج غيره من الميكروبات الممرضة إلى الدخول إلى داخل خلايا العائل بعدد كبير من الخلايا . وفي الوقت الذي تستخدم فيه المقدرة على إحداث المرض للفرقة فيما بين الأنواع فإن درجة ضراوة الميكروب تستخدم عادة للتمييز بين سلالات النوع الواحد . ومن الممكن أيضا الحصول على طفرات ميكروبية تختلف في درجة قتلها للعائل ، حيث تستخدم مثل هذه الطفرات في التعرف على الأسس الفيزيائية لدرجة الضراوة عند مقارنتها بخصائص الطرز البرية ، كما أنها مهمة أيضا نظرا لأن الطرز التي ليس لها القدرة على الفتك تستحث الجهاز المناعي للعائل مما يؤدي إلى بناء المناعة ضد المرض دون ظهور أية أعراض خطيرة ، وبهذا يمكن استخدام هذه الطفرات كطعم حي . وعادة ما يقتصر تكاثر الطفيل على مناطق معينة في العائل ، فمثلا نجد أن الميكروب الذي يسبب مرض الحمى المتسوجة في الأبقار يفضل النمو في جنين ومشيمة الأبقار الحوامل ، ويرجع السبب في مثل هذا التحديد داخل العائل المصاب إلى أن هذه البكتيريا الممرضة تنشط بدرجة واضحة في وجود مادة الأريثريتول التي تعتبر من السكريات التي لا توجد إلا في الأنسجة التي لها علاقة بالجنين . ومع ذلك فإنه في معظم الأحوال لا تعرف الأسباب وراء تمركز الإصابة داخل العائل ، وقد تؤدي الأبحاث التي تجري في هذا المجال مستقبلا إلى التوصل إلى بعض الأدلة التي تساعد على مقاومة العدوى بالأمراض المختلفة

عادة لاتنشأ أعراض المرض ببساطة عن تواجد الميكروب وخلاياه بكتلة كبيرة أثر تكاثره رغم أن هذه الأعداد قد تتكون بكميات هائلة كما هو الحال في رئة الشخص المصاب بالالتهاب الرئوي ، ولكن غالبا ماتنشأ عن المواد التي يقوم بإنتاجها الميكروب المعدى مثل التوكسينات ، حيث تفرز هذه المواد دائما خارج خلية الميكروب ، ولو أن بعض المواد المكونة لجدر الخلايا مثل السكريات الليبيدية العديدة الموجودة في جدر البكتيريا السالبة لجرام تعتبر سامة في حد ذاتها . وتعتبر أغلب السموم الميكروبية شديدة السمية عند توفرها بكميات قليلة كما أنها من أكثر المواد القاتلة والفتاكة المعروفة حتى الآن . فعلى سبيل المثال نجد أن ملليجرام واحد من توكسين التسمم البوتيوليني يكفي لقتل مليون أو أكثر من حيوانات التجارب مثل خنازير غينيا ، وليس من الضروري حدوث العدوى بواسطة أعداد ضخمة من الميكروبات لكي تحدث الوفاة . كما أنه لسوء لحظ فإن مثل هذه التوكسينات تمثل خطراً كبيراً على البشرية إذا ما استخدمت كأداة في لحرب البيولوجية . وعلى الرغم من أهمية التوكسينات الميكروبية إلا أنه لم يعرف طريقة

عملها إلا حديثاً ، فالبعض منها يعتبر إنزيمات قد تحلل على سبيل المثال كرات الدم الحمراء (توكسينات الهيموليسين) ، أو ترتبط بدرجة متخصصة مع بعض مكونات الخلية الضرورية مثل ما يحدث في حالة توكسين اللقترى الذى يثبط من انتقال الأحماض الأمينية من الحمض النووى RNA إلى السلسلة الببتيدية المتكونة أثناء تخليق البروتينات .

قد يؤدى نمو خلايا الميكروب الممرض نفسه إلى وفاة العائل ، ولو أن الطفيل الكفء - من وجهة النظر البيئية - هو الذى يعمل على استمرار العلاقة بين الطفيل والعائل على المدى الطويل وبذا يكون مفيداً للطفيل أن تنشأ حالة من الاتزان مع حدوث أضرار طفيفة للعائل الذى يستمر فى الحياة ويعمل على انطلاق الطفيل باستمرار الذى يعاود الكرة ويعمل على إصابة عوائل جديدة . فعلى سبيل المثال نجد أن الإنسان الحامل لميكروب التيفويد قد لا تظهر عليه أعراض مميزة للمرض ، ولكنه فى نفس الوقت يفرز بكتريا التيفويد ولفترات طويلة ، وبالتالي يكون مصدراً متجدداً للعدوى مما يسبب مشاكل خطيرة للمسؤولين المعنيين بالقضاء على هذا المرض .

٣ - الانطلاق :

تنطلق الميكروبات الممرضة من العائل المصاب ويحدث هذا عادة فى أماكن محددة ، التى تعتبر مميزة لكل مرض على حدة ، والتى قد لا تكون بالضرورة هى نفس مناطق الاختراق أو تكاثر الميكروب ، وقد يحدث الانطلاق فى حالة الحيوانات من خلال الجهاز التنفسى على صورة قطرات (عند السعال أو العطس) أو القناة الهضمية (فى البراز) أو البولية أو الجلد .

٤ - الانتشار :

هناك العديد من الطرق التى يتم بواسطتها انتشار الميكروبات الممرضة من عائل لآخر ، والتى منها الاتصال المباشر كما هو الحال بالنسبة للأمراض التناسلية أو الانتقال بواسطة الهواء المحمل بالقطرات أو الغبار أو الجراثيم كما هو الحال بالنسبة لأمراض الجهاز التنفسى المعدية أو الأمراض الفطرية التى تصيب النباتات . والكثير من الأمراض المعدية تنتقل بواسطة المياه أو قد تنتشر بواسطة الغذاء . كما أن الحشرات قد تكون ناقلة لبعض الأمراض وتعتمد طريقة انتقال العدوى على مقدرة الميكروب المسبب على المعيشة والبقاء حياً خارج العائل . ومن الأمثلة الواضحة على عدم المقدرة على التواجد خارج خلايا

العائل والبقاء حيا ما يحدث بالنسبة للميكروب المسبب للمرض التناسلي المعروف بالزهرى، وعلى العكس من ذلك تماما الميكروبات المتجترمة ومثال ذلك ما عرف عن جزيرة جرونارد القريبة من الساحل الاسكتلندي ، والتي مازال يتواجد بها جراثيم الميكروب المسبب لمرض الجمرة الخبيثة ، والتي أدخلت الى الجزيرة في أثناء اجراء بعض الدراسات التجريبية عام 1943 . وقد يستلزم انتشار المرض حدوث تكاثر له في الاعداد كما هو الحال بالنسبة للميكروبات المنقولة بواسطة الغذاء أو الحشرات ، لدرجة أن هناك بعض الميكروبات الممرضة التي تتكاثر بصفة عادية خارج خلايا العائل والصدفة البهجة هي التي تؤدي إلى انتقالها للعائل وإصابته .

ويلزم للقضاء على مرض ما ضرورة التدخل في أحد الأطوار الأربعة السابقة والممثلة لدورة حياته . ولكن لسوء الحظ ليس من أهداف هذا الكتاب معالجة مثل هذه المراحل بالتفصيل ، ولكن سوف تقتصر في المناقشة التالية على بعض الأحداث الهامة التي تتم بداخل العائل .

المقاومة للعدوى :

تعتبر أنسجة وسوائل الحيوانات - وبدرجة أقل النباتات - وسطاً غذائياً مثالياً نمو الميكروبات والذي قد يستمر بسرعة فائقة ودون توقف إذا لم تعترضه أية عوائق . ولكن كيف تتمكن الكائنات الحية الكبيرة من المقاومة والبقاء حية مع استمرارها في التطور ؟ لعل السبب وراء ذلك يرجع بلا شك إلى تمكنها من مقاومة عدوى الأمراض ، وعلى الرغم من أن سبل المقاومة تعتبر مميزة بالدرجة الأولى للعائل إلا أن دراستها والتعرف عليها ارتبط دائماً لأسباب تاريخية بتطور علم الميكروبيولوجيا . وتأخذ مقاومة الكائن الحي للعدوى إحدى الصورتين التاليتين : فقد تكون من النوع غير المتخصص حيث أنها تحدث في عوائل لم يسبق لها الإصابة بنفس المرض وهي التي يطلق عليها بالمقاومة الطبيعية الفطرية أو التكوينية ، وقد تكون مقاومة مستحثة داخل العائل نتيجة لوجود الميكروب المسبب للمرض .

٩ - المقاومة الفطرية أو التكوينية :

دائماً ما يقال بأن أسطح كل من النباتات والحيوانات تعمل كعائق أولى ضد اختراق الميكروبات . ولكن إذا ما حدث الاختراق فعلاً فإن الميكروبات تواجه بأنواع مختلفة

من طرق المقاومة ، حيث قد تنتج بعض المواد غير المتخصصة والمضادة نمو الميكروبات والتي من أمثلتها أنزيم الليزوزيم (انظر صفحة 27) الموجود في الإفرازات الطبيعية لأعضاء الحيوان المختلفة ، في حين أن النباتات تفرز مضادات ميكروبية فينولية . ولكن من أهم طرق المقاومة التكوينية في الحيوانات هي الفعل الالتقامي . ويوجد هناك عدة مراحل متسلسلة للالتقام تبدأ بخلايا اللاقعات الكبيرة فور اختراق الطفيل للعائل ، ثم خلايا الدم البيضاء المتعددة الأنوية والمرتبطة بالعقد الليمفاوية الموجودة في منطقة الإصابة المنتهية ، وفي النهاية تنشط خلايا الجهاز الشبكي البطاني في التقام ما تبقى من خلايا . وعلى عملية الالتقام تحلل للخلايا التي تم التقامها ، ولو أن هناك بعض الخلايا الميكروبية التي قد تقاوم ذلك . كما أن هناك البعض الذي يعتبر منيعا ضد عملية الالتقام (كما في حالة بكتريا التهاب الرئوى المحاطة بالكبسولة) . والبعض الآخر قد يلتقم ولكنه لا يتأثر بالأنزيمات المحللة الموجودة في الخلايا اللاقمة بل قد تنشط خلايا الميكروب داخل هذه الخلايا كما في حالة العصويات المسببة لمرض السل ، وقد يفرز بعضها مواد تسمى الليكوسيدين تعمل على قتل الخلايا اللاقمة . وهناك مقاومة فريدة في نوعها تحدث عند الإصابة بالفيروسات حيث تعمل الخلايا على إنتاج بروتين متخصص يسمى الانترفرون تحول دون استمرار العدوى الفيروسية وذلك باتباع أسلوب غير متخصص .

مما سبق يتضح أن هناك العديد من سبل الدفاع ضد الكائنات الحية الدقيقة الممرضة ، وأن مدى إمكانية الميكروبات في التغلب على وسائل الدفاع المختلفة يحدد قدرتها على إحداث المرض والفتك بالعائل في النهاية .

٢. - المقاومة المستحثة - المناعة :

يوجد في الحيوانات خط دفاع ثانى ضد العدوى إذا ما نجحت الميكروبات المستولة في توطين نفسها بالعائل ، حيث يستحث الميكروب خلايا العائل لتكوين بروتينات خاصة تسمى الأجسام المضادة التي تتحد مع الميكروبات وتعملها أكثر حساسية للتحلل والالتقام . ويعتبر إنتاج مثل هذه الأجسام المضادة جزء من الظاهرة العامة التي تستطيع بواسطتها الكائنات الحية التفاعل عند وجود أجسام غريبة بداخلها ، يطلق عليها بالأجسام المولدة للمناعة ، وهي لا تختلف كثيرا عن تكوين الأنزيمات المستحثة تحت تأثير بعض المواد الحثية على ذلك . وتعرف دراسة الاستجابة المناعية في الكائنات الحية بعلم المناعة ، والذي يعتبر ذو أهمية بالغة من الناحية الطبية والبيولوجية عامة . والآن لتكلم

بشيء من التفصيل عن كل من الأجسام المضادة والأجسام المولدة لها والتفاعلات المتابعة بينهما .

مولدات المناعة

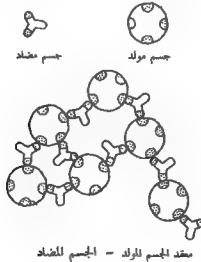
تستطيع مختلف أنواع المواد العمل على حث إنتاج وتحليق أجسام مضادة متخصصة ، بمعنى آخر أنها تستطيع أن تعمل كمولدات للأجسام المضادة . وتتميز هذه المواد عموماً بأنها عديدة البلمرة ذات وزن جزيئي مرتفع مثل البروتينات وعديدات السكر ، وعلى أسطح مثل هذه الجزيئات الكبيرة توجد مناطق معينة تسمى المجموع المحددة لتوليد الأجسام المضادة ، والتي تتفاعل بطريقة متخصصة مع الأجسام المضادة المتكونة . فيحتوى جزيء البروتين على مايعادل المائة من مثل هذه المجموع تقابل نظام ترتيب الأحماض الأمينية الموجودة في جزيء البروتين . وعلى العكس من ذلك نجد أن المواد ذات الوزن الجزيئي المنخفض لاتعتبر مولدة للأجسام المضادة ، ولكنها قد تكتسب هذه المقدرة عند اندماجها في أحد الجزيئات الكبيرة . ومن أهم ما يميز القدرة على توليد الأجسام المضادة ، هو التخصص الشديد الذى تتمتع به الأجسام المضادة المتولدة ، لدرجه أنه يمكن التفرقة بواسطتها فيما بين جزيئات البروتين التى قد لاختلف عن بعضها إلا في حمض أميني واحد أو اثنين . وبلا شك فإن درجة التخصص هذه تماثل التخصص الناشئ فيما بين الأنزيمات والمواد التى تنشط عليها ، حيث تحدث رابطة لانتشاركيه فيما بين الجسم المضاد والجسم المولد له ناشئة عن التكامل الشديد فيما بين الأسطح المتفاعلة بصورة متآلفة لما يحدث بين القفل والمفتاح .

الأجسام المضادة

الأجسام المضادة عباره عن بروتينات تتواجد في الجلوبيولين الذى يعتبر أحد مكونات سیرم الدم . ونظر لأن أى بروتين والكثير من عديدات السكر التى تحقق في الحيوان يمكنها الحث على إنتاج أجسام مضادة معينة كما أن العديد من المواد المنتجة صناعيا في العمل قد تتميز بقدرتها على حث عملية تكوين الأجسام المضادة فإن الحيوان الواحد يستطيع أن يكون العديد من الأجسام المضادة والتي قد يصل عددها إلى مليون جسم مضاد . ويتركب جزيء الجسم المضاد من منطقتين متخصصتين تتصل فيما بينهما بواسطة منطقة غير متخصصة تتألف من ناحية التركيب في جميع الأجسام المضادة

المتكونة . والمناطق المتخصصة هي التي تتحد فعلا مع الجسم المولد للمناعة لذا فإن الجسم المضاد يتفاعل كما لو كان جزيء ثنائى التكافؤ ، وحيث تعتبر هذه الخاصية هامة في تفاعلات الترسيب أو التلازن .

ومن الأمور الهامة المحيرة بخصوص المناعة هي هذه المقدرة الفائقة للحيوانات على إنتاج العديد من هذه البروتينات المختلفة على الرغم من أوجه التشابه فيما بينها من الناحية التركيبية . ويفسر ذلك إحدى النظريات التي تفترض أن هناك عدد مماثل من الجينات التركيبية يحمل كل منها شفرة تكوين جسم مضاد معين وأن دخول الجسم المولد بطريقة ما يحث على تكوين الجسم المضاد المقابل له . أما النظرية الأخرى التي تعتمد على الأدلة المتوفرة حاليا ، فإنها تؤيد مسؤولية عدد قليل من الجينات التركيبية في هذا الخصوص ، ولكنها أكثر قدرة على التفسير لتعطى العديد من الأجسام المضادة المختلفة التي نشاهدها فعلا . ويفترض نتيجة لهذه المرونة أن هناك مجموعة من الخلايا المتخصصة في إنتاج الأجسام المضادة تسمى خلايا البلازما حيث أن وجود جسم مولد معين يشجع من تضاعف خلايا البلازما المقابلة ، والتي تعمل بدورها على إنتاج الأجسام المضادة الملائمة ، بالإضافة إلى ذلك فإن هذه النظرية تفسر الحقيقة التي نعرفها وهي أنه بمجرد تعرضنا للعدوى فإن أجسامنا تكتسب مناعة ضد هذه العدوى نظرا لبقاء مزيد من الخلايا المكونة للأجسام المضادة المسؤولة عن المناعة في الجسم .



(شكل ٨ - ٤) تكون راسب ناتج من الاتحاد فيما بين الجسم المضاد الثنائى التكافؤ والجسم المولد الرباعى التكافؤ (تم تحديد مواقع التفاعل على هيئة مناطق مظلمة) ويلاحظ ازدياد هذا البناء الميكلى المتكون باحتراد في الثلاث اتجاهات المختلفة .

التفاعل الناشئ فيما بين الأجسام المولدة والأجسام المضادة :

يشتمل التفاعل الأساسي على اتحاد مناطق محددة من الجسم المضاد مع مناطق مقابلة لها على جزء الجسم المولد . ونظرا لأن الجسم المضاد ثنائي التكافؤ وأن الجسم المولد عديد التكافؤ فإن التفاعل يؤدي في النهاية إلى تكوين تركيب بنائي معقد (شكل ٨ - ٤) ، وإذا ما كان الجسم المولد قابل للذوبان فإنه يترسب في النهاية .

والآن لتتكلّم عما يحدث بالنسبة للحيوانات المصابة بواسطة ميكروبات لم يسبق لها التعرض لأي منها أو الإصابة بها ، حيث يحدث التقام لخلايا الميكروب وتجد مكونات هذه الخلايا طريقها مؤخرًا إلى الأنسجة الليمفاوية التي تقوم بإنتاج أجسام مضادة ضد هذه المكونات ، ولكننا نعرف أن الميكروب يحتوي على عدد كبير من جزيئات البروتين التي تناهز الألف وذلك بالإضافة إلى السكريات العديدة وغيرها من المركبات الأخرى التي تعمل كأجسام مولدة . ونظريًا فإن الأجسام المضادة تتكون ضد كل هذه المركبات ، ولكننا في الواقع نجد أن الأجسام المولدة المرتبطة بسطح الميكروب هي التي تعتبر ذات أهمية كبرى . فمثلاً نجد أن المكونات عديدة البلمرة بالخلية الميكروبية مثل جدار الخلية والكبسولة والزوائد والأسواط توجد على سطح الخلية وبكميات أكبر بالمقارنة بغيرها من الأجسام المولدة بالخلية . وعلى هذا فيمكننا اعتبار الخلية الميكروبية كجسم مولد كبير الحجم تتواجد الجوامع المحددة لصفة توليد المضاد على أسطحه الخارجية عديدة البلمرة . والتفاعل مع الأجسام المضادة المتخصصة ضد الخلية الميكروبية ، يؤدي إلى تكون بناء هيكلي متشابه يرسب فيما بعد وهو ما يطلق عليه بالمصطلح التلازن . ونجد أن اتحاد الأجسام المضادة بالأجسام المولدة في الجسم يؤدي إلى ازدياد حساسية الجهاز المناعي وكفاءة مؤديا إلى حدوث كل من التحلل والالتقام .

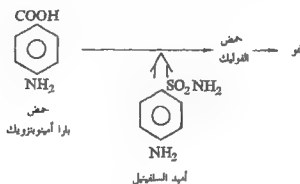
ومن أهم استخدامات علم المناعة في الدراسات الميكروبية هو الاعتقاد عليه كأحدى طرق تعريف وتصنيف الميكروبات ، وذلك عن طريق استخدام الأجسام المضادة المتخصصة . فعلى سبيل المثال هناك أكثر من مائة طراز لبكتيريا *Diplococcus pneumoniae* التي تختلف في طبيعة التركيب الكيميائي للسكريات العديدة المكونة للكبسولة المحيطة بالخلية ، والتي يمكن التفرقة فيما بينها باستخدام تحضيرات من الأجسام المضادة المختلفة واتحادها مع الطراز البكتيري المراد التعرف عليه محدثة لنوع من التلازن يسهل التعرف عليه . ويعد هذا الاختبار ذو أهمية كبيرة بالنسبة للمتخصصين في مجال

علم الأوبئة ، وذلك لمتابعة انتشار عدوى الأمراض حيث يساعد في التعرف على الطراز الميكروبي السبب لمرض ما ومدى انتشاره وانتقاله .

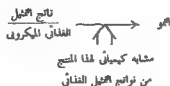
المركبات المضادة نمو الميكروبات واستخدامها في العلاج الكيميائي :

فور التأكد من قدرة الميكروبات على إحداث المرض بذلت العديد من المحاولات لإنتاج مركبات كيميائية لها القدرة على قتل مثل هذه الميكروبات أو على الأقل تحد من نموها . وتلك كانت البداية للأبحاث الخاصة بالمركبات الكيميائية المضادة لنمو الميكروبات ، ومنذ البداية كان التفكير السائد هو البحث عن المواد الرخيصة الثمن التي يمكنها قتل أكبر عدد ممكن من الميكروبات والتي تستخدم بالتبعية في التعقيم الكيميائي . ومن أكثر هذه المواد الكيميائية كفاءة مركبات الكلورين وفوق الكلورين والفينول وأملاح المعادن الثقيلة والمنظفات الصناعية . وقد أطلق على مثل هذه المواد بالمطهرات حيث تستخدم في تعقيم الأدوات وغيرها من المواد غير الحية أو في معالجة المياه وتستخدم بتركيزات منخفضة حتى لا تسبب أية سمية للكائنات الحية المختلفة من نبات وحيوان . وبالفعل فإن معظم هذه الكيماويات تعتبر ذات فعل عام وسام على بروتوبلازم الخلايا حيث تؤدي إلى فقدته لخواصه . ثم بعد ذلك بدأ الاهتمام بالبحث عن المواد الكيميائية التي يمكن استخدامها مباشرة مع كل من الحيوانات والنباتات والإنسان على وجه الخصوص . وتستخدم المواد المطهرة لتطهير الجلد وعلاج الجروح الصغيرة أما المواد المستخدمة في العلاج الكيميائي فتصنع خصيصا لتأثيرها على أنواع معينة من عدوى الميكروبات حيث يتم امتصاصها بواسطة سوائل الجسم . ولأجل هذا الغرض فإن هذه المواد يتطلب أن يكون لها تأثير مثبت متخصص ضد ميكروبات محددة وهو ما يطلق عليه باصطلاح السمية الانتقائية ، ولكن للأسف نجد أن هذه المواد السهلة الاستعمال كمطهرات لا تتوفر فيها مثل هذه الخاصية نظرا لأن الكائنات الحية الراقية عادة ما تعتبر أكثر حساسية للمواد الكيميائية عن الكائنات الحية الدقيقة وخاصة البكتريا والفيروسات . وعلى الرغم من أن العالم ليستر قد أدخل استخدام الفينول كإداة مطهرة أثناء عملياته الجراحية الشهيرة مما أدى إلى الحصول على العديد من المزايا ، إلا أن إدخال الفينول إلى الجروح ذاتها لا بد وأن يكون له أضرار خاصة فيما يتعلق بتبسيط للجهاز المناعي بالجسم لسميته الانتقائية للخلايا الحيوانية بمقارنتها بالكائنات الحية الدقيقة ، وعلى هذا فالحاجة ماسة فعلا لمواد ذات سمية انتقائية للكائنات الحية الدقيقة ، ولكن ما هو السبيل لاكتشافها ؟ . ولاشك أن البحث عن هذه المواد في بداية هذا القرن كان يعتمد

على تجربة العديد من المواد الكيميائية ومعرفة تأثيراتها الايجابية أم السلبية ، وقد تم الحصول على القليل من هذه المواد ذات الأهمية المحددة نسبيا ، ولكن لم يحدث تقدما مشهوداً إلا عند اكتشاف مركبات اميدات السلفا وهي مجموعة من المركبات الكيميائية التي يعتمد تركيبها أساسا على مادة أميد السلفينيل . وعلى الرغم من أن مثل هذه المركبات استخدمت ولا يزال في معالجة مجموعة من عدوى البكتريا الممرضة للإنسان والحيوان إلا أن اكتشافها في حد ذاته قد ساعد على تدعيم مجال البحث عن المواد ذات السمية الانتقالية ، ويرجع ذلك إلى ما عرف من أن التأثير السام لهذه المركبات على أنواع البكتريا الحساسة يمكن التغلب عليه بإضافة حمض بارا أمينوبنزويك ، حيث أثبتت الدراسات المتأنية في هذا المجال أن مركبات أميد السلفينيل تتنافس مع حمض بارا أمينوبنزويك في احتلال الموقع النشط لأحد الأنزيمات المسئولة عن تحويل هذا الحمض إلى حمض الفوليك الذي يعتبر أحد المرافقات الانزيمية للعديد من التحويلات الغذائية .

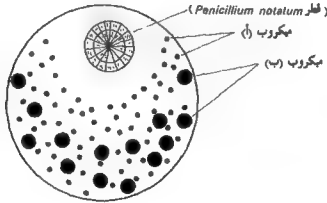


ولقد وجد أن مثل هذا التثبيط بالتنافس يعزى إلى التركيب الكيميائي المتشابه لمركبات أميد السلفينيل وحمض بارا أمينوبنزويك . ولقد كان مثل هذا الاكتشاف حقا مثيرا للغاية لأنه فتح الآفاق لإمكانية تخليق وإنتاج مجموعة من المركبات الكيميائية العلاجية والتي تتشابه في تركيبها الكيميائي مع بعض نواتج التمثيل الميكروبي خلاف حمض البارا أمينوبنزويك .



ومنذ ذلك الحين تم إنتاج العديد من هذه المركبات التى تعمل على تثبيط نمو الميكروبات . ومع ذلك فإن غالبية هذه المركبات تعتبر سامة للكائنات الحية الراقية ، حيث أن معظم نواتج التمثيل الغذائى الميكروبي تعتبر عامة وشائعة لكل صور الحياة الدنيقة والراقية نظرا لما هو معروف عن وحدة بيوكيمياء التفاعلات فى الكائنات الحية جميعا . لهذا يلزم البحث عن مواد وتفاعلات تعتبر مميزة للكائنات الحية الدنيقة ثم ينتج لها بعد ذلك مثبطات متخصصة لها . ولكن للأسف فإن مثل هذا الاتجاه لم يؤد إلى إنتاج أى من المركبات الكيميائية المفيدة فعلا فى العلاج الكيميائى ، ولعل السبب وراء ذلك هو عدم الدراية الكاملة بميكانيكية التمثيل الغذائى بالكائنات الحية الدنيقة لكونها بالغة الدقة والتعقيد .

منذ فترة بدأ يسود اتجاه جديد انبثق من اكتشاف مقدرة الكائنات الحية الدنيقة على إنتاج مواد مضادة للنمو أطلق عليها المضادات الحيوية . حيث تم اكتشاف مثل هذه الظاهرة منذ المراحل الزمنية الأولى لتطور علم الميكروبيولوجيا ، وكان العالم فليمنج هو أول من قام بوصف إحدى هذه المواد عام ١٩٢٩ م والتي يقوم بإنتاجها فطر *Penicillium notatum* حيث أسماها بمادة البنسلين ، وحيث تتوفر فيها العديد من الخصائص التى تجعلها من المواد الكيميائية النموذجية ، والتى تستخدم فى العلاج الكيميائى (شكل ٨ - ٥) . ولكن لم يحدث آنذاك تقدم كثير بخصوص تنقية مثل هذه



شكل (٨ - ٥) : نتائج تجربة تشبه تلك التى اكتشف من خلالها الفينج البنسلين . حيث تم تلقيح سطح الطبق كله بميكروبين أحدهما ينتج مستعمرات صفراء (أ) والآخر ينتج مستعمرات كبيرة (ب) . ويتنشر البنسلين من نحو فطر بنسليوم فواتام ويهبط الميكروب (ب) عند تركيز أقل من الميكروب (أ) .

المادة حيث أنه لم يكن هناك تفاهما بين كل من علماء الميكروبيولوجيا والكيمياء بالإضافة إلى أن علم الكيمياء الحيوية كان حديث العهد . واستمر الحال على ما هو عليه حتى الأربعينيات من هذا القرن حيث تطورت طرق التنقية المختلفة واتضح أن مادة البنسلين ذات كفاءة عالية في العلاج الكيميائي تفوق أية مواد أخرى تم اكتشافها مسبقا . وفجأة وجد أن خاصية إنتاج المضادات الحيوية شائعة فيما بين الميكروبات خاصة التي يعيش منها في التربة ، حيث اعتقد أنها تستخدم هذه الخاصية في التغلب على الكائنات المنافسة لها . ولقد أيقظ ذلك علماء الميكروبيولوجيا ليشغلوا على عينات التربة وأعينهم على وميض جوائز نوبل . وقد تم اكتشاف العديد من المضادات الحيوية مما أدى الى حدوث تطور جذري في العلاج بواسطة المواد الكيميائية إلى درجة أنه من الممكن ان نقول أن المضادات الحيوية تستخدم الآن في علاج معظم حالات العدوى التي تسببها الكائنات الحية الدقيقة . والآن ما هو الأساس الذي يبنى عليه خاصية السمية الانتقائية لهذه المضادات الحيوية . مثل هذا السؤال لايعتبر ذو صبغة أكاديمية نظرا لأن العديد من الكائنات الحية الدقيقة بدأت تظهر مقاومة لفعل المضادات الحيوية المستخدمة حاليا (انظر صفحة 130) ومن المرجح أنه قد تم اكتشاف واستفاد الغالبية العظمى من رصيد المضادات الحيوية التي توجد في الطبيعة . ولعل معرفة ميكانيكية فعل المضادات الحيوية يمدنا ببعض المعلومات اللازمة لتصميم مركبات كيميائية جديدة يمكن استخدامها في العلاج الكيميائي . ونجد أن هذا النوع من المعرفة بدأ يتوفر لدينا ولكن بشيء من البطء نظرا لأن ذلك يتطلب فهما دقيقا ومفصلا لفسولوجيا الميكروبات . فعلى سبيل المثال نجد أنه على الرغم من توفر العديد من الأبحاث الخاصة بميكانيكية فعل مادة البنسلين إلا أنه لم يكشف النقاب عن الموقع من الخلية الذي تؤثر عليه هذه المادة إلا حديثا ، وحيث وجد أنها تؤثر على المرحلة الأخيرة في تخليق السكريات الببتيدية في الخلايا بدائية النواة . وبهذا أمكن تفسير السمية الانتقائية لمثل هذه المواد حيث أن الخلايا حقيقية النواة ومن بينها خلايا الإنسان لا تحتوي على أى تركيب مشابه لهذه السكريات الببتيدية .

وعلى الرغم من اكتشاف مواد عديدة ذات سمية انتقائية ضد خلايا الكائنات الحية الدقيقة إلا أنه لا يتوفر حتى الآن مواد لها فعل مماثل ضد الفيروسات ، حيث أن هذه الكائنات ولسوء الحظ تعتمد اعتمادا كاملا في تكاثرها على خلية العائل ، وأن أى محاولة لتثبيط تكاثر الفيروسات يؤدي بالضرورة إلى تثبيط خلايا العائل أيضا . ومع ذلك فهناك بعض الفرص المتاحة للحد من مهاجمة الفيروسات والحيولة دون دخولها إلى الخلية .

وقد يكون في الإمكان تخليق مواد تستخدم في العلاج الكيميائي لعدوى الفيروسات ومرض السرطان إلا أن ذلك يتطلب فهما دقيقا ومتطوراً لوظائف الخلية يفوق ما هو متوفر لدينا الآن من معلومات .

الكائنات الحية الدقيقة والمقاومة الحيوية :

عادة ما تؤدي الكائنات الحية الممرضة إلى حدوث أضرار للإنسان إما بإحداثها للأمراض بدرجة مباشرة أو بتأثيرها على الحيوانات والمحاصيل الحقلية التي يعتمد عليها . ومع ذلك فإنها قد تكون مفيدة أيضا نتيجة لفعلها الذي يحد من انتشار الآفات . ومن الأمثلة على ذلك الفيروس الذي يسبب مرض الورم الهلامي للأرناب ، ويوجد هذا المرض في نصف العالم الغربي حيث الأرناب أكثر مقاومة له . ولقد دخل هذا المرض إلى أوروبا في عام 1953 ثم وصل فيما بعد إلى استراليا وهي مناطق لم يكن موجوداً بها بالمرّة ، وقد أدى ذلك إلى حدوث وباء مدمر أدى تقريبا إلى إبادة الأنواع الحساسة من الأرناب . مما ساعد على استزراع مساحات شاسعة من الأراضي والتي كانت مرتعا لنشاط الأرناب المدمر ، وعلى الرغم من نشأة سلالات أرناب مقاومة لمثل هذه العدوى إلا أن هذا المثل يعتبر نموذجا واضحا لإمكانية استخدام الكائنات الحية الدقيقة كأحد وسائل المقاومة البيولوجية . وهناك الآن اتجاه حديث لاستغلال ذلك في مقاومة الآفات الحشرية ، وذلك لأن هذه الطريقة لأبصاحها تلوث للبيئة المحيطة كما هو الحال عند استخدام المبيدات .

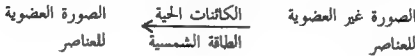
الفصل التاسع

بيئة الكائنات الحية الدقيقة وأهميتها للإنسان

تكون الكائنات الحية الدقيقة نسبة لا يستهان بها من ممل الكتلة الحية الموجودة على سطح الكرة الأرضية . فمما لاشك فيه أن معدلات تكاثرها السريعة وكفاءة تمثيلها الغذائي بالإضافة إلى تأقلمها مع الظروف البيئية المحيطة يجعلها أكثر أهمية بالنسبة للأنشطة المختلفة التي تجري في النظم البيئية ودرجة قد تفوق ما تشير إليه كتلتها الحية وسوف يعالج هذا الفصل بعض أدوارها الهامة المتعلقة بالحفاظ على الأوساط البيئية الموجودة على سطح الكرة الأرضية بصورة تسمح باستمرار الحياة على حد مفهومنا لها . هذا بالإضافة إلى التعرض لبعض الطرق المستخدمة لاستغلال نشاط هذه الكائنات الحية الدقيقة لخير الإنسان ومنفعته أولاً وآخرها .

دورات العناصر والمادة :

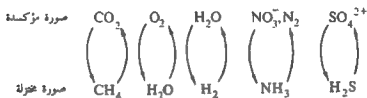
علمنا مما سبق أن العناصر الغذائية الرئيسية اللازمة لبناء ونشاط الكائنات الحية تشتمل على الكربون ، الهيدروجين ، الأكسجين ، النتروجين ، الكبريت ، الفوسفور . ويعتبر النمو بالنسبة لجميع الكائنات الحية على سطح الكرة الأرضية ماضوا إلا تحول هذه العناصر من الصورة غير العضوية إلى مواد عضوية لبناء المادة الحية لهذه الكائنات . وفي البداية تأتي الطاقة اللازمة لحدوث مثل هذه التحولات من الشمس عن طريق عملية التمثيل الضوئي .



ولو أقصرت العمليات الحيوية على مثل هذه العملية فقط فإنه سرعان ماتتوقف الحياة نظرا لارتباط كل الصور غير العضوية للعناصر - خاصة الكربون والنروجين - وتواجدهما على هيئة مركبات عضوية . وفي الحقيقة فإن عكس هذه العملية والتي يطلق عليها بالمعدنة لابد وأن تحدث أيضا نتيجة لفعل ونشاط الكائنات الحية وبهذا يحدث ما يسمى بدورات المادة أو العناصر .



ولكن الوضع يكون أكثر تعقيدا في الطبيعة نظرا لأن أغلب العناصر الهامة توجد في صورها المؤكسدة والمختزلة ، وتستطيع الكائنات الحية استخدام هذه العناصر في صورها المختلفة لذا توجد دورات أخرى تربط فيما بين الصور المتعددة لهذه العناصر .

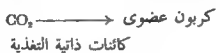


والآن دعنا نعرض بشيء من التفصيل للطريقة التي يتم بها حدوث التغيرات المختلفة في دورة الكربون .

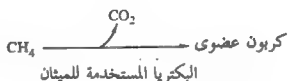
دورة الكربون

يعتبر CO_2 المصدر الأساسي للكربون غير العضوي والمتاح لاستخدام الكائنات الحية سواء وجد على حالة غازية في الغلاف الجوي أو ذائبا في المياه السطحية . حيث يتم تحويله إلى صورة عضوية نتيجة لنشاط كائنات حية ذاتية التغذية ، والتي يمكنها استخدام

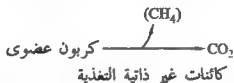
هذا الغاز كمصدر أساسي للكربون والتي من أهمها الكائنات المنتجة للأكسجين أثناء عملية التمثيل الضوئي والمثلة في النباتات والطحالب ، هذا بالإضافة إلى أن كل من البكتريا المثلة للضوء وتلك المؤكسدة للمواد غير العضوية تلعب دورا ولو محدودا في هذا الخصوص



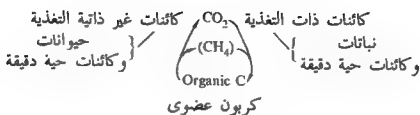
هذا بالإضافة إلى أن جزء بسيط من الكربون المختزل الموجود على صورة CH_4 قد يستخدم كمصدر للكربون بواسطة بعض أنواع البكتريا الهوائية متحولا إلى كربون عضوى وأيضاً CO_2 .



وتحدث عملية تحويل الكربون غير العضوى إلى مركبات كربونية عضوية بمعدلات تسمح باستهلاك مخزون CO_2 الموجود في الغلاف الجوى خلال 20-30 عاما وذلك في حالة عدم حدوث أى تعويض لهذا الغاز من المحيطات . ومع هذا فإن عملية المعدنة العكسية تسمح بتحويل الكربون العضوى إلى كربون غير عضوى نتيجة لنشاط الكائنات الحية غير الذاتية التغذية مما يحول من استنفاد رصيد CO_2 الموجود في الطبيعة ، حيث يكون الناتج النهائى لنشاط هذه الكائنات هو CO_2 ، ولو أن بعض أنواع البكتريا قد تنتج غاز CH_4 نتيجة لتنفسها اللاهوائى والتخمر (انظر صفحة 102) .



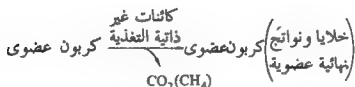
بهذا تكتمل دورة الكربون ويحدث في النهاية اتزان فيما بين الاتجاهين الرئيسيين



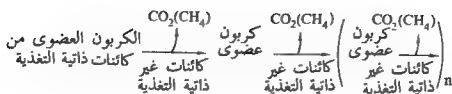
وعلى الرغم من حدوث عملية تحول الكربون غير العضوى إلى الصورة العضوية بواسطة النباتات والكائنات الحية الدقيقة وذلك بطريقة مباشرة وفورية إلا أن العملية العكسية التي تتم بواسطة أفراد المملكة الحيوانية والكائنات الحية الدقيقة غير الذاتية التغذية تعد أكثر تعقيدا مما يستدعى دراستها بشئ أكثر من التفصيل .

معدنة الكربون العضوى :

تحصل الكائنات غير الذاتية التغذية — سواء كانت حيوانات أو ميكروبات — على الكربون والطاقة عن طريق التمثيل الغذائى لإحدى صور الكربون العضوى الناتجة عن نشاط إحدى صور الحياة الأخرى .



ونتيجة لذلك فإن جزء من الكربون العضوى يتم معدنته في حين أن المتبقى يتحول إلى صورة عضوية أخرى إما على هيئة نمو ميكروبي جديد أو إحدى النواتج النهائية لعمليات التمثيل الغذائى . ويختلف مدى كفاءة هذا التحويل باختلاف الكائن المستول والظروف التي تتم خلالها هذه العملية سواء كانت هوائية أو لاهوائية . وبعد ذلك نجد أن الكائن الحى غير الذاتى التغذية أو نواتجها النهائية من الكربون العضوى تستخدم كمصدر لغذاء كائنات غير ذاتية أخرى ، وهكذا تستمر العملية عبر سلسلة غذائية . ونجد عند كل مرحلة من مراحل هذه السلسلة أن نسبة معينة من الكربون العضوى الأصيل يحدث لها معدنة وهكذا حتى تمام عملية المعدنة .



وتلعب الميكروبات دوراً بالغ الأهمية في مثل هذه العملية بحيث أن أى مركب يدخل في تركيب كائن ما لابد وأن يكون عرضة للمعدنة وإلا حدث له تراكم على سطح الكرة الأرضية مما قد يؤدي في النهاية إلى أن الكربون جميعه يصبح في صورة غير صالحة للاستخدام . ولقد رأينا أن الميكروبات تتميز بمقدرتها الكبيرة على تحليل المركبات العضوية المختلفة بل أنها تتمكن من استخدام وتمثيل جميع المواد الكيميائية الطبيعية . ويسهل ملاحظة ذلك عند تتبع الأنسجة النباتية أو الحيوانية الميتة التي تصل إلى التربة أو المياه حيث نجدها تتحلل بسرعة ، ويحدث ذلك نتيجة لفعل ونشاط مجموعة متتابعة من الكائنات الحية الدقيقة حيث يستخدم كل منها مركب عضوى أو أكثر . وعند تراكم مادة معينة فإن ذلك يكون مشجعاً للميكروبات التي لها القدرة على استخدام هذه المادة . ومع ذلك فهناك بعض المكونات النباتية المتراكمة في التربة والتي تستخدمها الكائنات الحية الدقيقة ببطء شديد ، حيث تدخل هذه المواد مع النواتج الوسطية لنشاط الميكروبات في تركيب مايسمى ببدائل التربة الذى يعتبر كمعقد متكون من خليط من المواد التي تساعد في اكتساب التربة لقوام وبناء جيدين وفي دعم تغذية النبات .

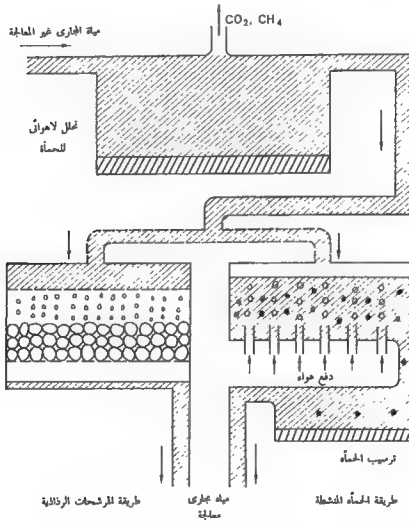
ويعتبر الدور البيئى الذى تلعبه الميكروبات غاية في التعقيد ونحن لانفهم إلا القليل عنه وعن التداخلات الناشئة في الأوساط الطبيعية . وتظهر هذه المشكلة أكثر تعقيداً إذا ما علمنا أن التربة ذاتها تشتمل بداخلها على أوساط بيئية دقيقة حيث تتوفر بها ظروف تختلف عن الظروف السائدة بشكل عام . فعلى سبيل المثال نجد أن الميكروبات تُلْمَصُّ على سطح حبيبات التربة أو الغذاء ويصعب محاكاة ذلك تماماً تحت ظروف العمل التجريبية .

ومن أهم العوامل التي تتحكم في معدل حدوث عملية المعدنة توفر عنصر الأكسجين ، فعند سيادة الظروف اللاهوائية كما هو الحال في الأراضى الغدقة يحدث تراكم للأحماض العضوية وغيرها من المواد السامة الناتجة عن حدوث عملية التخمر مما

يؤدي إلى تثبيط عمليات التمثيل الغذائي ونمو الميكروبات عموماً ، وبهذا تتراكم طبقات من المواد العضوية المتحللة جزئياً كما هو الحال بالنسبة لطبقات الخث أو فحم المستنقعات ، وتستغل ظاهرة التحلل الجزئي للمواد العضوية في إنتاج العلف الأخضر المحفوظ (السيلاج) حيث تجمع المواد النباتية الملائمة مثل الحشائش الخضراء وتعبأ في أبراج أسطوانية أو في حفر حيث تتحول الظروف سريعاً إلى ظروف لاهوائية ، ويؤدي تخمر المواد الكربوهيدراتية بواسطة البكتريا إلى إنتاج حامض اللاكتيك وتراكمه بكميات كبيرة ، عندئذ ترتفع درجة الحموضة بسرعة مما يساعد على عدم استمرار التخمر والتحلل ، وحيث يحفظ هذا العلف الأخضر المعامل لفترات طويلة قبل استخدامه كعلف للحيوان .

وعلى هذا فإن للكائنات الحية الدقيقة دور أساسي في استمرارية دورة الكربون ، وأن كل المركبات العضوية الموجودة في الطبيعة تتحول في النهاية نتيجة لعملية المعالجة إلى غازي CO_2 و CH_4 ولكننا نجد أن الإنسان يعمل على إدخال المزيد من المركبات العضوية المختلفة خاصة المبيدات الحشرية ، ومبيدات الحشائش إلى الأوساط البيئية المحيطة ، وحيث تقاوم العديد من هذه المركبات الفعل المحلل للميكروبات مما يؤدي إلى تراكمها في الطبيعة . وفي أغلب الأحيان لا تعرف التأثيرات الناشئة عن تراكم هذه المواد فبالإضافة إلى تأثيراتها السامة إلا أنه لا يمكن التنبؤ بمدى الكارثة التي سوف تلحق بسلاسل الغذاء نتيجة لتقطعها وعدم استمراريتها . لذا في حالة ضرورة استخدام هذه المواد الكيميائية يبدو إلزاماً التأكيد من عدم سميتها للإنسان وأن تكون عرضة لفعل عملية المعالجة التي تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة بمعنى أنها تكون قابلة للتحلل ولو بدرجة بطيئة . ومن أمثلة ذلك المركبات الصناعية التي تستخدم كمنظفات ، حيث أنها في بادئ الأمر كانت تصنع من مواد غير قابلة للتحلل ، وحيث أدى تراكمها إلى حدوث العديد من المشاكل البيئية خاصة في الأنهار وغيرها من المسطحات المائية التي تلوها الرغوات الكيميائية بدرجة واضحة . ولكن مع سن القوانين المنظمة اتجهت الصناعة إلى إنتاج منظفات قابلة للتحلل الميكروبي مما أدى إلى التغلب على هذه المشكلة . ولكن ظهرت مشكلة من نوع آخر حيث وجد أن معظم هذه المنظفات تحتوي على عنصر الفوسفور الذي ينطلق نتيجة لفعل الميكروبات على صورة أملاح فوسفات ذائبة ، تعمل على زيادة نمو الطحالب وغيرها من النباتات المائية بدرجة شديدة وغير مرغوب فيها . لذا فإن الخطوة التالية تستلزم إنتاج منظفات صناعية خالية من عنصر الفوسفور .

ومن الأسئلة التي تستحوذ الاهتمام حاليا هو مدى إمكانية حدوث طفرات في نوعية الأنزيمات المحللة للمواد العضوية ؟ وذلك تحت تأثير المواد الكيميائية المتخلقة صناعيا والملوثة للوسط البيئي حتى يحدث التحلل لمثل هذه المركبات . بمعنى آخر يعمل التلوث على حدوث تغير تطوري يساعد على التغلب على مصادر التلوث ذاتها . ولا شك أنه من الممكن دراسة مثل هذه النقاط معمليا شريطة أن تكون المادة المستهدفة متقاربة في تركيبها الكيميائي مع أحد المواد الطبيعية ، ولكن على الرغم من ذلك فإن تطور ونشوء ميكروبات لها القدرة على مهاجمة مواد معقدة مثل كلوريد الفينيل أو النايلون لابد وأن يستغرق فترات طويلة هذا إذا حدث أصلا .



(شكل ٩ - ١) طريقتين من الطرق الأساسية المستعملة في محطات معالجة الجارى

معالجة مخلفات المجارى :

لقد أدى تطور المدن الكبيرة واكتظاظها بالسكان إلى إنتاج مخلفات عضوية بكميات هائلة وفي مساحات محدودة . والتخلص من هذه المخلفات بإلقائها في المسطحات المائية القريبة ، كما جرت العادة سابقا يؤدي إلى حدوث مشكلتين رئيسيتين . أولهما تتعلق بالأخطار الناجمة على الصحة العامة لما تحتويه هذه المجارى من ميكروبات ممرضة ، وثانيهما أن الظروف في المياه الملوثة تتحول إلى ظروف لاهوائية نتيجة لنشاط الميكروبات الهوائية واستهلاكها للأكسجين الذائب في المياه ، مما يدمر الغروة السمكية وغيرها من صور الحياة الحيوانية في المياه . وبناء على ذلك فمن المفضل معاملة هذه المجارى لتقليل محتواها من المواد العضوية . ونظرا لأن هذه العملية تعتبر معدنة في حد ذاتها فإن مقدرة الميكروبات على القيام بهذه العملية قد استغل في إنشاء محطات معالجة مياه المجارى ، حيث تشتمل المعالجة على مرحلتين أساسيتين :

١ - الترسيب والتحلل اللاهوائى :

العمل على ترسيب مخلفات المجارى الصلبة في أحواض ترسيب كبيرة حيث يحدث تحلل لاهوائى لمثل هذه المخلفات وإنتاج غازى CO_2 و CH_4 ، ثم بعد ذلك ترال الرواسب غير المتحللة الموجودة في القاع بشكل دورى

٢ - التحلل الهوائى لمكونات المجارى السائلة :

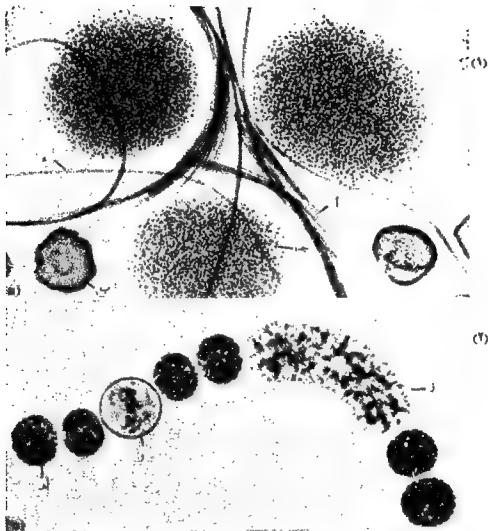
تعرض مخلفات المجارى السائلة لفعل الميكروبات الهوائية . ويتم ذلك باستخدام المرشحات الرذاذية ، حيث ترش المخلفات السائلة على أسطح الحصى وفئات الصخور المعاملة مسبقا بالميكروبات المحللة . وهناك طريقة أخرى تعتمد على دفع الهواء خلال المخلفات السائلة ، وحيث تتكون رواسب بمرور الوقت تعتبر غنية في الكائنات الحية الدقيقة النشطة في تحلل المواد العضوية الذائبة ويطلق على مثل هذه الرواسب الحمأة المنشطة . وقد تستخدم مثل هذه الحمأة بعد ذلك حيث تضاف الى أحواض معالجة المخلفات السائلة مما يؤدي إلى إسراع عملية التحلل والمعدنة . ويوضح الشكل (٩ - ١) خطوات المعالجة .

وهناك مشكلة أخرى تنشأ في المسطحات المائية ، فمن المعروف أن نقص مستوى العناصر الغذائية في مياه الأنهار والبحيرات وخصوصا التترات والفوسفات والكبريتات

يحد من نمو الطحالب فيها . وهناك العديد من العوامل التي تعمل على زيادة معدل إضافة هذه المغذيات إلى الجارى المائية . وهذا الأثرء بالعناصر الغذائية يحدث نتيجة لتلوث المياه بمياه المجارى أو مخلفات الصناعة أو مياه الصرف الناتج من الزراعة الكثيفة وهذا يؤدي إلى نمو وازدهار الطحالب التي يسهل رؤيتها بالعين المجردة ، والتي من أهمها الطحالب الخضراء المزرقه (لوحة ٩ - ١ الموجودة بصفحة 174) خاصة الأنواع المحتوية على فجوات غازية يمكنها الطفو على سطح الماء ، ولسوء الحظ فإن الثوم المضطرد لهذه الطحالب يؤدي في النهاية وبطريقة مباشرة أو غير مباشرة إلى تدهور ملحوظ في جودة المياه الجارية ، مما يؤدي إلى أضرار اقتصادية خطيرة لاحتواء المياه على مواد سامة للأسماك أو وجود مكونات أخرى يصعب فصلها بالترشيح قبل استخدام المياه . هذا بالإضافة إلى أن الطحالب بعد موت خلاياها تتحلل بواسطة البكتريا ، مما يؤدي إلى استهلاك الأكسجين وسيادة الظروف اللاهوائية والتي إذا ما امتدت لفترة طويلة فإنها تؤدي إلى قتل الأسماك وغيرها من الحيوانات المائية .

دورة النتروجين :

غالبا ما يعد توفر مصدر مناسب من النتروجين عاملا محددًا لنمو الكائنات الحية في النظام البيئي . فعلى الرغم من توفر غاز النتروجين بكميات طائلة في الغلاف الجوى تفوق الحاجة إلا أنه لايتواجد ضمن الكائنات الحية عموما إلا بمجموعة محدودة من الكائنات الحية الدقيقة التي لها المقدرة على استخدام هذا الغاز كمصدر للنتروجين وتثبيتته في جسمها ، لذا فإنه صار لزاما حدوث تلوير لهذا العنصر وبكفاءة عالية فيما بين مركبات النتروجين العضوية وغير العضوية . فيتم تحويل صور النتروجين المعدنية الموجودة على صورة أمونيا أو نترات إلى مركبات عضوية عند استخدامها أساسا بواسطة النباتات والميكروبات ، مع ملاحظة أنه في حالة استخدام النترات فإنه يلزم اختزالها إلى أمونيا أولا . ولقد ناقشنا فيما سبق الاختلافات فيما بين الكائنات الحية الدقيقة ، من حيث مقدرتها على استخدام صور النتروجين المعدنية وتخليق ما يلزمها من الأحماض الأمينية وقواعد البيورين والبيريميدين وغيرها من مركبات النتروجين المعقدة . وتقع مسؤولية معدنة صور النتروجين العضوى المتكونة إلى أمونيا في الغالب على الكائنات الحية الدقيقة سواء بفعلها النشط على الكائنات الميتة ؛ أو بتحليلها للمخلفات الحيوانية المختلفة . وتحت الظروف الهوائية في التربة تستطيع بكتريا التآزت أكسدة الأمونيا إلى نترات (صفحة 105) ولو أن هذه العملية قد تعتبر ضارة من الوجهة



(لوحة ٩ - ١) (١) الطحالب الخضراء المزرقة في المياه الملوثة من إحدى البرك بالمغرب .

(أ) Aphanizomenon (ب) Gomphospheria

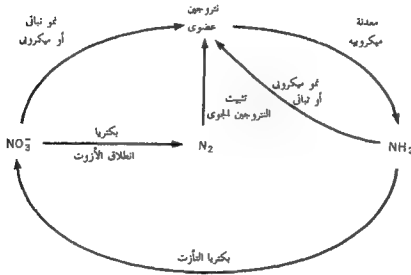
(ج) Microcystis (د) Oscillatoria (X 135)

(٢) جزء من حيط أحد الطحالب الخضراء المزرقة Anabaena حيث (هـ) عبارة عن خلايا خضرية تسمى حل فترات غازية ،

(و) حوصلة ، (ز) جراثيم حبيبية (أكيات) (X 135)

« تفصل بأهداء هذه الصور هيلدا كاتر - لورد »

الزراعية نظرا لأن النترات المتكونة على الرغم من سهولة امتصاصها بواسطة النباتات عن الأمونيا إلا أنها تعتبر أكثر عرضة للغسيل والفقد في التربة . ثم عند تحول الظروف في التربة إلى الظروف اللاهوائية تحدث عملية انطلاق الأزوت التي تقوم بها بعض الميكروبات أثناء تنفسها اللاهوائي مستخدمة النترات (صفحة 103) حيث لا يمكن تعويض هذا الفقد إلا عن طريق نشاط الميكروبات المثبتة للنروجين الجوي أو بإضافة الأسمدة الكيميائية . ويلخص الشكل (٩ - ٢) دورة النروجين .



(شكل ٩ - ٢) دورة النروجين

إنتاج الميكروبات ونواتجها المختلفة صناعيا :

سنناقش فيما يلي إمكانية استخدام وسائل الصناعة المختلفة في إنتاج الخلايا الميكروبية ذاتها أو نواتجها المتعددة .

الأغذية الميكروبية :

تعتبر الميكروبات ذاتها مصدرا ممتازا لتغذية كل من الإنسان والحيوان حيث أن خلاياها تحتوي على قدر كبير من البروتين والأحماض الأمينية الأساسية والفيتامينات .

وعلى الرغم من عدم التيقن إلى الإمكانية الكبيرة لاستخدام الميكروبات كغذاء إلا حديثنا فإن الميكروبات استخدمت فعلا ومنذ القدم في تخمير وحفظ الأغذية بل العمل على رفع قيمتها الغذائية سواء كانت أغذية نباتية أو حيوانية والتي سريعا ما تلتف دون ذلك . وتعتبر الألبان مثال جيد على ذلك خاصة فيما يتعلق باستخدام اللبن في تصنيع الزبد والألبان المتخمرة مثل الزبادى والجبن . وإذا ما تكلمنا عن تصنيع الجبن نجد أنه يتم أولا ترسيب بروتين ودهون اللبن على هيئة خثرة صلبة تتعرض بعد ذلك لفعل الميكروبات أثناء عملية النضج والتعتيق . وتتوقف نوعية الجبن المنتجة في النهاية على الطريقة المستخدمة في الصناعة (التسخين ، الضغط ، التمليح .. الخ) . فعلى سبيل المثال نجد أن الميكروبات المسؤولة عن جودة إنتاج جبنة الشيدر المعروفة هي بكتريا حامض اللاكتيك الموجودة في خثرة اللبن ؛ حيث يتكون الطعم المميز لهذا الجبن نتيجة لتو ثم موت خلايا هذه المجموعة من البكتريا وما ينطلق أثر ذلك من أنزيمات محللة للبروتين والدهون . أما بالنسبة لأنواع الجبن الأخرى فتضاف مزارع ميكروبية خاصة إلى اللبن مثل بكتريا حامض البروبيونيك حيث يؤدي انتاجها لحمض البروبيونيك وغاز CO_2 إلى إنتاج الجبن السويسرى المشهور بطعمه المميز والثقوب الموجودة به ، في حين أن الفطر يستخدم في إنتاج الجبن الزرقاء .

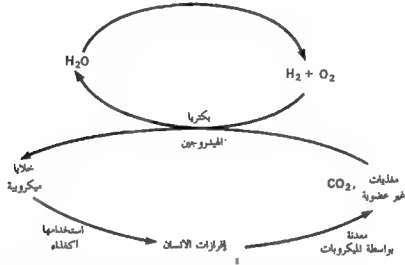
ومع هذا فإن منتجات الألبان تعتبر مكلفة ولا ترفع كثيراً من القيمة الغذائية للبن نفسه ، ولكن من الاتجاهات الأكثر نفعا حاليا هو استخدام الكائنات الحية الدقيقة في رفع القيمة الغذائية لبعض الأطعمة الكروبايدراتية مع ضرورة الحرس الشديد لعدم حدوث أى تلوث بالميكروبات الممرضة . وهناك اهتمام شديد الآن باستخدام الغذاء الميكروبي على نطاق واسع كأحدى الوسائل الممكنة لمواجهة نقص الغذاء العالمى ، حيث أن المواد الضرورية التى تستخدم لتنمية الميكروبات تعتبر رخيصة الثمن ، مما يجعل استخدام هذه الطريقة ممكنا من الناحية الاقتصادية . وهنا يتضح ثلاث اتجاهات رئيسية استخدمت لأجل هذا الغرض وتهدف إلى حل هذه المشكلة . وجميع هذه الطرق لازالت حديثة بحيث أن تطورها لم يستقر بعد .

١ - استخدام الكائنات الحية الدقيقة ذات القدرة على التمثيل الضوئى . فعلى الرغم من أن هذه الميكروبات لا تتطلب إضافة مواد عضوية باهظة التكاليف إلا أنها تحتاج إلى توفير الضوء اللازم . ولكن حتى الآن لم يتم تطوير طريقة اقتصادية تلائم إنتاج هذه الميكروبات .

٢ - استخدام الميكروبات غير الذاتية التغذية . يستلزم استخدام هذه الميكروبات توفر مصادر كربونية رخيصة ، وذات مواصفات ثابتة تقريبا . وفي هذا المجال يمكن استخدام المخلفات الكروايدراتية الناشئة عن الصناعات المختلفة مثل المولاس المتخلف عن صناعة السكر ، ونشارة الخشب المتخلفة عن صناعة الأخشاب ، ومخلفات الكبريتيت السائلة الناتجة عن صناعة الورق . حيث تستطيع الميكروبات النمو هوائيا في وجود هذه المخلفات أو نواتج تحللها المائي . ومن الطرق الأخرى استخدام الوقود الحفري مثل البترول كمصدر للكربون والطاقة حيث تتمكن الميكروبات غير ذاتية التغذية من استخدام المركبات الهيدروكربونية المستقيمة السلسلة الموجودة في البترول والغاز الطبيعي . وهذه تتوفر بأسعار اقتصادية على الأقل حتى ينفذ احتياطي العالم منها . ونواتج التنمية عبارة عن خلايا ميكروبية وغاز CO_2 ويمكن تحويل ما يعادل ٨٠٪ من المركبات الهيدروكربونية إلى كتلة حية من الخلايا الميكروبية التي تحتوي بدورها على ما يعادل ٥٠٪ بروتين تقريبا . ولقد تم تطوير لخطوط إنتاج خلايا الخميرة كغذاء من البترول ؛ وذلك باستخدام المزارع المستمرة على نطاق صناعي كبير وحيث يعتبر المنتج بهذه الطريقة من أرخص صور البروتين المتاحة بل وينافس دقيق فول الصويا والأسماك . وتستخدم الخمائر المنتجة في تغذية الحيوانات مثل البواجن والخنازير دون ظهور أية تأثيرات سامة . ونظرا لأن المنتج عديم الطعم فلا يوجد هناك أي سبب يحول دون استخدامه كغذاء للإنسان شريطة إضافة مواد محسنة للطعم والقوام . ولا شك أن مثل هذا الغذاء الميكروبي لابد وأن يكون له تأثير ملموس على وضع الغذاء العالمي ، حيث تشير التقديرات إلى أن ١٠٪ فقط من الإنتاج العالمي للبترول يمكن استخدامه في تدبير الاحتياجات البروتينية اللازمة لتغذية البشرية جمعاء . ولعل هذه التقديرات تبرز الغباء المستحكم في تبديد مخزون العالم من الوقود الحفري سواء كان فحم أو بترول بالحرق للحصول على الطاقة والحرارة اللازمين . ويعتبر الميثان CH_4 كأحد الغازات الطبيعية الرخيصة التي يمكن استخدامها كمصدر للكربون والطاقة ، ولو أن إمكانية استخدامه مقصورة على البكتيريا ولا نعلم الكثير عن مقدرة كل من الحيوان والإنسان على استعماله كمصدر للغذاء .

٣ - استخدام البكتريا ذاتية التغذية الكيميائية . وإمكانية استخدام هذه الكائنات الحية تنشأ من الاجابة على السؤال الذى يطرح الا وهو كيفية استخدام الطاقة الكهربائية لإنتاج مواد غذائية عضوية ؟ ولعل هذه المشكلة هم أساسا المشتغلين في علوم الفضاء

على الرغم من أهميتها في المستقبل عند توفر الطاقة الكهربائية بأسعار أرخص مما هي عليه الآن ، وعندما ينفذ مخزون الوقود الحفري . ومن إحدى الطرق المستخدمة تحويل الطاقة الكهربائية إلى ضوء يستخدم بعد ذلك لتنمية الكائنات الحية التي لها القدرة على التمثيل الضوئي والإمكانية الثانية هي أن كل من الأكسجين والهيدروجين يتكون منهما الماء ، ويمكن إجراء عكس التفاعل بالتحليل الكهربائي ، وتستخدم النواتج لتنمية الميكروبات . وفي رحلات الفضاء الطويلة قد يكون من الممكن معدنة مخلفات رجال الفضاء وتحولها إلى نواتج معدنية يمكن استخدامها كعناصر غذائية لتنمية بكتريا الهيدروجين التي تستخدم خلاياها ثانية في تغذية رجال الفضاء ويلخص الشكل (٩ - ٣) مثل هذه العملية . ومن الواضح أن هذا لا يعتبر حلماً ، فلاشك أن الإنسان يسعى دائماً للتغلب على مثل هذه الصعاب التي تعترضه عملاً على تعزيز ودعم رحلات غزو الفضاء .



(شكل ٩ - ٣) رسم تخطيطي يوضح الانماذج للسفر للفضاء الميكروبي باستخدام الطاقة الكهربائية

المنتجات الميكروبية :

يمكن من الناحية النظرية استغلال تكون أى من النواتج الوسيطة للتمثيل الغذائي بواسطة الميكروبات وذلك على نطاق واسع في الصناعة . ولكن بغض النظر عن الاحتياج لتصنيع مثل هذه المواد إلا أن هناك سؤالاً دائماً مايفرض نفسه ، ألا وهو مدى

ما تتكلفه هذه العمليات الحيوية بالمقارنة بتصنيع مثل هذه المواد كيميائياً . ولقد حظي بالاهتمام في الماضي إنتاج بعض نواتج التمثيل الغذائي للخلايا ، والتي تفرز خارج الخلية والموجودة عادة بكميات كبيرة . ويتم إنتاج أغلب هذه المواد لا هوائياً عن طريقة عملية التخمر الميكروبي ولذا كان يطلق على مثل هذه الصناعات بصناعة التخمرات . ولكن لسوء الحظ فقد عمم هذا الاسم على غيرها من الصناعات الحديثة والمعتمدة على نمو الميكروبات هوائياً مثل صناعة الخميرة باستخدام المركبات الهيدروكربونية التي سبق الحديث عنها .

وسوف نتكلم الآن عن تصنيع أهم المنتجات الميكروبية في الماضي والحاضر والمستقبل .

١ - إنتاج الكحول :

يعتبر إنتاج كحول الايثانول من أقدم المنتجات الميكروبية تاريخياً ، حيث يتكون نتيجة لنشاط ميكروبات الخميرة وتخميرها للمواد الكربوهيدراتية (صفحة 103) . ومن أبسط الطرق استخدام المواد النباتية المحتوية على نسب عالية من السكر مثل العنب كمادة يتم تخميرها مباشرة لإنتاج النبيذ ، وحيث يتوقف نوع النبيذ المنتج على كل من نوع العنب والخميرة المستخدمين . وتشتمل العملية على عصر العنب ليتكون عصيراً رائقاً ، والذي يتم تخميره بواسطة الخميرة الموجودة طبيعياً على العنب أو بعد إضافة إحدى خمائر العنب وذلك « كبادئ » لتشجيع عملية التخمر . وعملية التخمر التي تتم تعتبر أساساً تخميراً كحولياً خالصاً حيث أن البكتيريا الملوثة يقف نموها نتيجة للحموضة المرتفعة بالإضافة إلى ارتفاع نسبة السكر في عصير العنب . وبعد انتهاء عملية التخمر يتم إزالة الخميرة ثم يترك النبيذ للتعتيق دون أي تدخل للعمليات الميكروبية . ولكن يجب الاحتياط دون حدوث أي فساد ميكروبي ينشأ عن نشاط البكتيريا التي تؤكسد الكحول إلى حامض خليك خاصة عند توفر ظروف هوائية شديدة أثناء عملية التعتيق ، وإذا ما حدث ذلك فإن الناتج النهائي هو تكون الخل .

وأثناء صناعة البيرة تتخمر المواد الكربوهيدراتية ممثلة في النشا الموجود في الشعير أو الذرة أو الأرز . ونظراً لأن الخمائر المنتجة للكحولات ليس لها القدرة على مهاجمة النشا في حد ذاتها فإنه يلزم في البداية حدوث تحلل جزئي له والذي يتم إما نتيجة لفعل أنزيمات

الأميليز الموجودة في الشعير كما هو الحال في البيرة المنتجة في بلاد أوروبا أو نتيجة لفعل أنزيمات الأميليز التي تفرزها الفطريات التي تضاف أثناء صناعة أنواع الخمور اليابانية الشهيرة . وفي مرحلة التحلل المائي للنشا نشاط طرز الخمائر المختلفة المستخدمة في صناعة البيرة لإنتاج الكحول . وتختلف أنواع البيرة المنتجة باختلاف طرز الخمائر المستخدمة ، وكذلك نتيجة لإضافة بعض أنواع من الأعشاب ، أو لخلوث عملية تخمر تالية على درجات الحرارة المنخفضة ، وذلك عند إنتاج أنواع البيرة المعتقة . وتعتمد معظم صناعات البيرة على إتمام عملية التخمر في أوعية تخمير كبيرة بطريقة الدفعات غير المستمرة في حين أن استخدام المزارع المستمرة قد يكون أكثر كفاءة ، ولكن تحفظ الشركات المنتجة للبيرة وتعود المستهلكين على المذاق المميز يؤدي إلى عدم إدخال مثل هذه الطريقة في صناعة البيرة في معظم البلدان .

بالإضافة إلى ذلك هناك وجهتين أخريتين لاستخدام التخمر الكحولي بواسطة الخميرة ، الأولى تشتمل على إنتاج الكحول صناعيا ولو أن إنتاجه كيميائيا صار منافسا قويا وبدأ في الإحلال محل إنتاجه ميكروبيا . والاتجاه الثاني أثناء صناعة الخبز حيث يحدث تخمر للخبز نتيجة لنشاط الخميرة وإنتاجها لغاز CO_2 .

٢ - المنتجات الكيميائية الأخرى :

استخدمت مقدرة الكائنات الحية الدقيقة على تخليق مجموعة كبيرة من النواتج الوسطية لعملية التخمر كأساس لما يطلق عليه الآن بصناعة التخمرات وما وصلت إليه من تقدم ملحوظ ، حيث تستخدم هذه الطريقة في إنتاج مواد مثل الجلوسرين ، حامض اللاكتيك ، الأسيتون ، البيوتانول ، حامض الخليك وحامض البيوتريك . ولو أن الارتفاع في تكلفة المواد الكربوهيدراتية الخام المستخدمة وتطور عمليات التخليق الكيميائية لمثل هذه المركبات قد أدى إلى جعل الإنتاج الميكروبي لمثل هذه المركبات غير اقتصادي . وباستثناء كل من صناعة الخبز والنيبيذ نجد أن معظم الصناعات الميكروبية قد تعرضت لخطر الانقراض إلى أن عادت للانتعاش مرة ثانية باكتشاف المضادات الحيوية في الأربعينيات من هذا القرن واستخدامها في العلاج الطبي . وتعتبر المضادات الحيوية مواد كيميائية إلا أن إنتاجها مازال يتم بواسطة الميكروبات ، حيث أنها أكثر رخصا . حيث أدت الأبحاث إلى الحصول على سلالات ذات كفاءة عالية في إنتاج هذه المضادات الحيوية ، والتي تعتبر من أحد أسرار الصناعة . فعلى سبيل المثال نجد أن سلالات فطر

Penicillium المستخدمة حاليا في الصناعة تنتج ما يعادل آلاف المرات مما تنتجه السلالة الاصلية من هذا الفطر *Penicillium notatum* التي تحصل عليها العالم Fleming . ويلاحظ هنا للمرة الثانية أن طريقه مزرعة الدفعات تستخدم في إنتاج المضادات الحيوية ، ولأسباب تختلف عن الأسباب التي يتبناها منتجي البيرة ، فعادة ما ينتج الميكروب المضادات الحيوية بعد انتهاء دور النمو النشط أى عند نهاية طور النمو الأسى ، وحيث يطلق على مثل هذه المركبات التي لا تتكون أثناء مرحلة النمو النشط اصطلاح نواتج التمثيل الغذائي الثانوية . وحتى الآن لم يتم بوضوح التعرف على الدور الذى تلعبه هذه المضادات الحيوية . حيث يفترض أن المقدرة على إنتاج المضادات الحيوية من المميزات التى تساعد الميكروبات على المقاومة والبقاء وذلك كما يتضح من إنتاج هذه المواد بواسطة معظم الميكروبات التى تستوطن التربة التى تعتبر من الأوساط البيئية التى يحدث بها التنافس الشديد فيما بين المجموع الميكروبية المختلفة . ولكن لم يتم تأكيد هذا الافتراض ، بل ويظل كلفز محر مقدرة مجموعة من الاكتينوميسيتات على إنتاج كميات كبيرة من هذه المواد الكيميائية الغريبة والتى قد لا يكون لبعضها أى نشاط مضاد لنمو الكائنات الحية الأخرى .

ولا شك أنه كان لإنتاج المضادات الحيوية على نطاق تجارى تأثيرا مشجعا للصناعات الميكروبية الأخرى بالإضافة الى الاهتمام الموجه حاليا صوب إنتاج الغذاء الميكروبي الذى تكلمنا عنه سابقا . ولكن لسوء الحظ يهيمن على الصناعات البيولوجية بصفة عامة مجموعة من الأشخاص غير الملمين بعلوم البيولوجى . لذا فإنه يبدو لزاما على فروع البيولوجى المختلفة خاصة البيولوجيا الجزيئية أن تبرز عن دورها واستخداماتها في الميادين المختلفة . فلقد أمكن حديثا استنباط سلالات ميكروبية لها القدرة على الإنتاج الفائق لأى من نواتج التمثيل الغذائي الوسطية مثل الفيتامينات . ولا شك أن إنتاج المضادات الحيوية ما هو إلا مثال لما قد يمكن تحقيقه وإنتاجه بواسطة الميكروبات ولو على نطاق تجريبى .

ولا شك أن استغلال وراثاة الكائنات الحية الدقيقة يسمح بحلوت تطور ملحوظ فى الطرق المستخدمة . فعلى سبيل المثال هناك اهتمام واضح بانتاج الأنزيمات على نطاق تجارى كما أنه يمكن إدخال بعض الطفرات التى لها القدرة على تخليق أى من الأنزيمات دون حدوث أى نوع من أنواع الكبت وحيث يمكن إنتاج نسخ متعددة للجينات التركيبية . وفى القريب العاجل سوف تصبح الهندسة الوراثية واستخدامها بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة حقيقة واقعة وعندئذ يمكننا إدخال الجينات المرغوبة إلى أى من الميكروبات ، وذلك من مصدر آخر ليس له به صلة أو قرابة .

مراجع إضافية

توجد قائمة مفصلة بالكتب والمراجع زودت بها الأجزاء التي ظهرت مؤخراً في هذه السلسلة من الكتب والتي يمكن الرجوع إليها . هذا بالإضافة إلى المراجع التالية الهامة :

BROCK T. D. (1961) *Milestones in Microbiology*. New Jersey: Prentice Hall

BROCK T. D. (1970) *Biology of Microorganisms*. New Jersey: Prentice Hall

POSTGATE J. (1969) *Microbes and Man*. Harmondsworth: Penguin Books

STANIER R. Y., DOUDOROFF M., ADEIBERG E. A. (1971) *General Microbiology*. London: Macmillan.

كما تحتوى الإصدارات السنوية لجمعية الميكروبيولوجيا التي تصدر عن جامعة أكسفورد العديد من المقالات ذات الصبغة العامة والمفيدة .

قائمة المصطلحات العلمية

A

Acid- tolerant bacteria	البكتريا المقاومة للحموضة
Actinomycetes	الآكتينوميسيتات
Activated Sludge	طريقة الحمأة المنشطة في معالجة مياه المجارى
Adsorption	ادمصاص
Aerobic respiration	التنفس الهوائى
Agar (Agar agar)	الاجار (لتجميد البعيات البكتيرية)
Agglutination	التلازن الناشئ عن تفاعل الاجسام المضادة والأجسام المولدة لها
Akarvotcs	كائنات عديمة النواة (الفيروسات)
Akinetes	جراثيم تكونها الطحالب الخضراء المزرقه
Algae	طحالب
Ammonifiers	بكتريا النشدره (تحلل المادة العضوية النتروجينية إلى نشادر)
Amoeba	الاميبا
Amoeboid motion	الحركة الأميبية
Anaerobic respiration	التنفس اللاهوائى
Analogue	مشابه (كيميائى)
Antibiotics	مضادات حيوية
Antibodies	أجسام مضادة
Antibody- antigen reaction	التفاعل الناشئ بين الأجسام المضادة والأجسام المولدة لها
Antigens	أجسام مولدة للمناعة
Antigen- determinant groups	المجاميع الكيميائية المتحكممة فى المناعة
Antimicrobial agent	مادة مانعة ل نمو الميكروبات

Antiseptics	المواد المطهرة
Asexual spores	جراثيم لاجنسية
Assembly	تجميع مكونات جزيء الفاج
Association	علاقة المعايشة (التزامل) الناشئة فيما بين الكائنات الحية
Autoclave	جهاز الاوتوكلاف (للتعقيم البخار تحت ضغط)
Autolysis	التحلل الذاتي للخلايا
Autotrophs	كائنات حية ذاتية التغذية
Auxotrophs	ميكروبات بها عوز غذائي
Auxotrophic mutants	طفرات العوز الغذائي

B

Bacilli (rod)	ميكروبات عصوية
Bacteria	البكتيريا
Bacteriology	علم دراسة البكتيريا
Bacteriophage (phage)	بكتريوفاج (فاج) (فيروسات البكتيريا)
Barophilic microorganisms	كائنات حية دقيقة محبة للضغط الجوي العالية
Batch cultures	مزارع الدفعة الواحدة (المزارع غير المستمرة)
Bdellovibrios	بكتيريا ضمنية صغيرة تتطفل حتماً على أجناس بكتيرية أخرى
Binary fission	الانقسام الثنائي البسيط
Binomial nomenclature	التسمية الثنائية للكائنات الحية
Biochemical characters	الخصائص البيوكيميائية (كيمو حيوية)
Biodegradable	مواد عرضة للتحلل الحيوي
Biological control	المقاومة الحيوية للآفات
Biological warfare	الحرب البيولوجية
Biology	علم البيولوجي (الحياة)
Biomass	الكتلة الحية
Biosynthesis	التثثيل الحيوي
Botany	علم النبات

Burst	انفجار الخلية
Breakdown	انحلال (مصادر الكربون والطاقة)

C

Calvin cycle	دورة كالفين
Cannibalism	تغذية الخلايا على نواتج تحلل خلايا من نفس النوع (الوحشية)
Capsid	الكابسيد (الغلاف البروتيني لجزيء الفيروس)
Capsomers	كابسوميرات (الوحدات البنائية لغلاف الفيروس)
Capsule	كابسولة (مواد مخاطية محيطة بالخلية)
Carbon cycle	دورة الكربون
Cell division	انقسام الخلية
Cell- free extract	مستخلص خالى من الخلايا
Cell wall	جدار الخلية
Chemical pathways	مسارات التفاعلات الكيميائية
Chemoautotroph	كائنات حية ذاتية التغذية الكيميائية
Chemostat	الكيموستات (نظام للتحكم في المزارع الميكروبية المستمره بطريقة العامل المحدد)
Chemosynthetic autotrophs	كائنات ذاتية التغذية الكيميائية
Chemotherapy	العلاج الكيماوى (باستخدام المواد الكيميائية)
Chlamydo spores	الجراثيم الكلاميدية
Chlorophylls	صبغات الكلوروفيل
Chloroplasts	البلاستيدات الخضراء
Chromosomes	كروموزومات
Ciliates	السوطيات
Classification	تقسيم الكائنات الحية
Clone	مجموعة من الخلايا متائلة تماما من الناحية الوراثية
Cocci	ميكروبات كروية
Code	شفرة وراثية

Coenocytic	خلايا متعددة الأنوية
Coenzyme	مرافق إنزيمى
Colony	مجموعة (مستعمرة) بكتيرية
	علاقة عدم التأثير المتبادل فيما بين الكائنات الحية المتعايشة
Commensalism	(أو المنفعة من جهة واحدة)
Competitive inhibition	التثبيط بالتنافس
Conidia (Conidiospore)	الكونيديا (الجراثيم الكونيدية)
Conjugation	التزاوج
Constitutive enzymes	الانزيمات التكوينية (دائمة التواجد بالخلية)
Constitutive resistance	مقاومة تكوينية ضد حلوث مرض ما
Continuous culture	المزارع المستمرة لتنمية الكائنات الحية الدقيقة
Corepressor	كابح معاون
Counting chamber	شريحة العد الميكروسكوبى المباشر للخلايا (غرفة العد)
Cultural characters	الخصائص المزرعية
Cycles of elements	دورات العناصر
Cyst	حوصلة
Cytoplasm	السيتوبلازم
Cytoplasmic membrane	الغشاء السيتوبلازمى

D

Death phase	طور الهبوط (الموت)
Denitrification	انطلاق الأزوت
Diatoms	الدياتومات
Differential centrifugation	الطرد المركزى التفريقى
Differential staining	الصبغ التفريقى للخلايا
Diploid cell	خلية ثنائية المجموعة الكروموزومية
DNA	الحمض النووى د. ن . أ
Donor	واهب (أو مانح)

E

Early enzymes	انزيمات مبكرة
Ecology	علم البيئة
Ecosystem	النظام البيئي
Electron donors	مركبات معطية للالكترونات (مانحه)
Electron microscope	الميكروسكوب الالكتروني
Electron transport chain	سلسلة انتقال الالكترونات
Endoplasmic reticulum	الشبكة الاندوبلازمية
Endospores	الجراثيم الداخلية
Environment	الوسط البيئي
Environmental stimuli	منبهات بيئية
Episomes	إبيزومات
Eukaryotic cells (Eukaryotes)	خلايا حقيقية النواة
Eutrophication	نمو الطحالب وازدهارها في المجارى المائية نتيجة للتلوث الشديد بأملاح النتروجين والفوسفور النائية
Evolution	نشوء (تطور)
Exosporium	كبس جراثيمى
Exponential phase	طور التضاعف الأسى للخلايا

F

Facultative anaerobes	ميكروبات لاهوائية اختياريا
Facultative autotrophs	كائنات حية ذاتية التغذية اختياريا
Family	اسم العائلة
Feedback inhibition	التثبيط الرجعى
Fermentation	التخمير
Filteration	التعقيم بالترشيح
Flagella	أسواط الحركة
Flourescent microscope	الميكروسكوب الفلورى

F- pilli (sex- pilli)	الزوائد الجنسية
Freeze drying	الحفظ بالتجميد (طريقة التجميد والتجفيف تحت تفريغ)
Freeze- etch	طريقة التجميد والطبع الكليشي لتجهيز العينات الميكروبية لفحصها بالميكروسكوب الالكتروني
Fruiting bodies	الاجسام الثمرية
Fungi	فطريات

G

Gene	الجين
Generation time (doubling time)	زمن الجيل (زمن التضاعف)
Genome	هيئة جينية
Genus	اسم الجنس
Germ- free animals	حيوانات معقمة خالية من الميكروبات
Gliding movement	الحركة الانزلاقية
Glycolytic- substrate level phosphorylation	الفسفرة على مستوى مادة التفاعل من خلال الانحلال الجليكولي
Gram stain	صبغة جرام
Growth	النمو

H

Haemolysis	تحلل كرات الدم الحمراء
Haploid cell	خلية أحادية المجموعة الكروموزومية
Heterotrophs	كائنات غير ذاتية التغذية
Hfr cells	خلايا مذكرة ذات كفاءة تزواجية عالية
Humus	دبال التربة
Hydrogen bacteria	بكتريا الهيدروجين
Hyphae	هيفات (الفطر)

I

Icosohedral	جزء فيروس على شكل مجسم ذو عشرون وجها مثلثا
Identification	تعريف الكائنات الحية
Immunology	علم المناعة
Incubation	عملية التحضين
Individual	فرد
Induced enzymes	الأنزيمات المستحثة
Inducers	مواد محثة
Inducible resistance	مقاومة مستحثة
Inoculation	عملية التلقيح
Interferon	الانترفيرون (بروتينات متخصصة تفرزها الخلايا لمقاومة الفيروسات المعديّة)

L

Lag phase	طور النمو التحضيري
Latent period	مرحلة كمن (الفاج)
Lichens	الاشنات (تجمع طحلبى - فطرى متعايش)
Life cycle	دورة الحياة
Light microscope	الميكروسكوب الضوئى (الميكروسكوب العادى)
Lysis	تحلل
Lysogeny	حالة ليسوجينى
Lysozymes	ليزوزيم (انزيمات محللة)

M

Macrophage	خلايا الماكروفاج المبتلة (لاقمات كبيرة)
Marker	معلّم (واسم)
Maximum temperature	درجة الحرارة العظمى
Medium (media)	بيئة (بيئات) أو منبت (منابت)
Mesophilic microorganisms (mesophiles)	كائنات محبة للحرارة المتوسطة

Mesosome	ميزوزوم
Metabolism	التمثيل الغذائي
Methane- producers	ميكروبات منتجة للميثان
Methane utilizers	كائنات مستهلكة للميثان
Microbiological assay	التقدير الحيوي للعناصر الغذائية باستخدام الميكروبات
Microbiology	علم الميكروبيولوجي (الكائنات الحية الدقيقة)
Microenvironments	الأوساط البيئية الدقيقة
Micromanipulator	جهاز لفصل خلية ميكروية واحدة تحت الميكروسكوب للتنقية
Microorganisms	الكائنات الحية الدقيقة
Microscopy	الفحص الميكروسكوبي
Mineralization	عملية المعدنة
Minimum temperature	درجة الحرارة الدنيا
Miosis	الانقسام الميتوزي (الاختزالي)
Mitochondria	الميتوكوندريا
Mitosis	الانقسام الميتوزي (غير المباشر)
Molecular biology	البيولوجية الجزيئية
Molecular characters	الخصائص الجزيئية
Monomorphism	النظرية التي تنادي بأن كل نوع من الميكروبات يأخذ شكلاً محدداً ومميزاً
Morphological characters	الخصائص المورفولوجية
Motility	حركة الكائنات الحية الدقيقة
m- RNA	الحمض النووي ر . ن . أ حامل الرسالة
Mucopeptide	طبقة السكريات الببتيدية (الميوكوببتيدات أو الببتيدوجليكان ، المكونة لجدر الخلايا البكتيرية)
Multicellular	كائنات عديدة الخلايا
Multinucleate cell	خلية عديدة الأنوية
Multiplication	تضاعف الخلايا
Mutant	طفرة

Mycelium	ميسيليوم (الفطر)
Mycology	علم دراسة الفطريات
Mycoplasma	بكتريا الميكوبلازما (ليس لها جدار خلوى)
Mycorrhizae	فطريات الميكورهيذا (الفطريات الجذرية)
	(تدخل مع النبات فى علاقة تبادل منفعة)
Myxobacteria	الميكسوبكتيريا (بكتريا هلامية)

N

Nephelometer	جهاز لقياس النمو (بتقدير العكازة المسببة لتشتت الضوء المباشر)
Niche	دور بيئى مميز
Nitrifiers	بكتريا التآزت
Nitrogen fixation (N_2 Fixation)	تثبيت النتروجين الجوى
Nitrogen- Fixing Organisms	الكائنات الحية الدقيقة المثبتة للنتروجين الجوى
Nomenclature	التسمية العلمية للكائنات الحية
Nuclear membrane	الغشاء النووى
Nucleolus	النوية
Nucleus	النواة
(nucleoid, nuclear body)	
Numerical taxonomy	التقسيم الرقمى للكائنات الحية بناء على دراسة العديد من صفاتها مع استخدام الحاسب الآلى
Numerical aperture	الرقم المميز للعدسة (الفتحة العدديه)
Nutrient broth	بيئة المرق المغذى
Nutrition	التغذية

O

One- step viral growth curve	منحنى نمو الفيروس ذو الخطوة الواحدة
Operator gene	جين عامل (مشغّل)

Operon	الأوبرون (مجموعة من الجينات تنظم وتحكم عمل معين)
Optimum temperature	درجة الحرارة المثلى
Osmophiles (halophiles)	ميكروبات محبة للضغط الاسموزي العالية
Oxidative Phosphorylation	الفسفرة التأكسدية (الهوائية)

P

Paramecium	البرامسيوم
Parasitism	علاقة التطفل
Pathogenicity	قدرة الطفيل على إحداث المرض (القدرة الإمرضية)
Pasteurisation	عملية البسترة
Peat	الخت (أو فحم المستنقعات)
Peptidoglycan	سكريات بيتيدية (فى جدر الخلايا بدائية النواه)
Periplasm	البيريلازم (المنطقة المحصورة بين الجدار الخلوى والغشاء السيتوبلازمى)
Phagocytosis	الالتقام (التغذية بابتلاع الأجسام الصلبة)
Phase contrast microscope	ميكروسكوب تباين الأطوار
Photoautotrophs	كائنات حية ذاتية التغذية الضوئية
Photophosphorylation	الفسفرة الضوئية
Photosynthesis	عملية التمثيل الضوئى
Phycology	علم الطحالب
Phylogenetic taxonomy	تقسيم الكائنات الحية الدقيقة تبعاً لدرجة القرابة فى النشوء والتطور
Pili (fimbriae)	زوائد
Pinocytosis	الارتشاف (التغذية بامتصاص المواد الغذائية الذائبة)
Plaque	بقعة شفافة (منطقة تحلل نتيجة الإصابة بالفيروس)
Plaque-forming units (P. F. U)	عد جزئيات الفاج التى تكون كل منها بقعة تحلل شفافة
Plasmids	بلازميدات (مكونات وراثية منفصلة عن الكروموزوم)
Pleomorphism	النظرية التى تنادى بتعدد أشكال الميكروب الواحد
Polymerisation	عملية البلمرة
Polysomes	البوليوزومات (عديد الريبوزومات)

Population	مجموعة أفراد كائن ما (تعداد)
Pour plate	طريقة الأطباق المصبوبة
Primordial soup	الحساء الأصلي (الأولى) لصور الحياة
Progeny	خلفة أو نتاج (الفيروسات)
Prokaryotic cells (prokaryotes)	خلايا بدائية النواة
Promotor gene	جين محفز
Prophage	بروفاج (فاج أولى)
Protoplast	بروتوبلاست (خلية كاملة بدون جدار خلوى)
Prototroph	أولى التغذية
Protozoa	البروتوزوا
Protozoology	علم البروتوزوا
Pseudopodium	قدم كاذب
Psychrophilic microorganisms (psychrophiles)	كائنات حية محبة للبرودة
Pure cultures	المزارع النقية (تحتوى على خلايا من نوع واحد)

R

Radiation	الإشعاع (التعقيم بالإشعاع)
Recepiant	مستقبل (خليه)
Recombinations	اتحادات وراثية
Regulator gene	جين منظم
Repair mechanism	نظام إصلاح خلوى
Repressible enzymes	الانزيمات المكبوتة
Repressor	كابت
Resolving power	قوة إيضاح الميكروسكوب
Rhizosphere	المنطقة من التربة المحيطة بجلود النباتات
Ribosomes	الريبوزومات
Rickettsia	الركتسيا (بكتريا صغيرة طفيلية)
RNA	الحمض النووى ر . ن . أ .

Rumen	كرش الحيوانات المجتره
Secondary metabolites	نواتج التمثيل الغذائى الثانوية
Sedimentation constant	ثابت الترسيب
Selection	انتخاب (انتقاء)
Selective toxicity	السمية الانتقائية
Serological characters	الخصائص السيرولوجية
Sexual spores	جراثيم جنسية
Sewage	مخلفات المجارى
Silage	السيلاج (العلف الأخضر المحفوظ)
Single cell protein	بروتين ميكروئى
Slime moulds (myxomycetes)	الفطريات الهلامية
Species	اسم النوع
Spectrophotometer	جهاز تقدير الطيف الضوئى
Spirillum	ميكروبات حلزونية
Spirochaetal movement	الحركة الملتوية
Spontaneous generation	نظرية التوالد الذاتى
Spores	الجراثيم
Sporogenesis	التجرثم
Starters	بادئات المزارع الميكروبية
Stationary phase	طور الثبات (طور السكون)
Sterilization	التعقيم
Storage granules	الجسيمات المخزنة
Strain	سلالة تتبع نوع معين من الكائنات الحية
Streak plates	طريقة الأطباق المخطوطة
Strict aerobes	كائنات هوائية حتما
Strict anaerobes	كائنات لا هوائية حتما
Structural genes	جينات تركيبية
Substrate- level phosphorylation	الفسفرة على مستوى مادة التفاعل (لا هوائية)

Symbiosis	علاقة تكافلية (تبادل المنفعة)
Synchronizaton	التزامن
Synchronous growth	النمو المتزامن
Synthetic (defined) media	بيئات تركيبية

T

Tail- core	قناه الذيل المجوفة
Tail- fibers	خيوط الذيل
Tail- sheath	غمد ذيل الفاج
Temperate (phage)	معتدل (بكتريوفاج)
T- even phages	فاجات T (متخصصة في إصابة E. coli)
Thermophilic organisms (Thermophiles)	ميكروبات محبة للحرارة العالية
TMV	فيروسات تبرقش الدخان
Total count	العدد الكلى للخلايا
Toxins	توكسينات (سموم ميكروبية)
Transcription	النسخ الوراثى
Transduction	الاستقطاع الوراثى (انتقال العوامل الوراثية محمولة في جزيء الفاج)
Transformation	التحول الوراثى
t- RNA	الحمض النووى الناقل
Turbidity	العكارة الناشئة عن نمو الخلايا
Tyndallisation (Transmittent sterilization)	التعقيم المتقطع بالبخار

U

Unicellular organisms	كائنات وحيدة الخلية
-----------------------	---------------------

V

Vaccination	التطعيم
-------------	---------

Vegetative mycelium	الميسيليوم الخضري
Viable count	عدد الخلايا الميكروبية الحية
Vibrio	ميكروبات ضمية
Virion (particle)	جزء الفيروس الكامل
Virology	علم الفيروسات
Virulence	درجة شراسة الميكروب وإحداثه للمرض (الضراوة الأمراض)
Virulent	فتاك (ضار)
Viruses	الفيروسات
Volutin	حبيبات مخزنة مكونة من عديد الفوسفات

W

Wild type	طراز برى
------------------	----------

Y

Yeasts	الخمائر
---------------	---------

Z

Zoology	علم الحيوان
----------------	-------------

الفهرس

صفحة

اتحادات وراثية جديدة	139
آجار ، استخداماته	21
أجسام ثمرية	78 , 69 , 68
أجسام مضادة	158 , 156
أجسام مولدة للمناعة	158 , 156
أحماض عضوية ثلاثية الكربوكسيل	108
ازدهار الطحالب فى المياه أثر تلوثها	173 , 170
استئصال وراثى	136 , 135
استهلاك الميثان	177 , 167 , 91 .
أسواط	76 , 73 , 66 , 65 , 51 , 50 , 29
الاشعاع ، تأثيراته	92 , 19
أشنيات	150
أصل الحياة	143 , 142
اكتينوميسيتات	65 , 44
اكرازين	78 .
اكسجين ، تأثيره على النمو	91 , 90
إنبات	43 .
إنتاج الجبن	176
إنتاج السيلاج	170

صفحة

107, 100, 51, 46, 45, 30	إنتاج الطاقة
166, 105, 102, 91	إنتاج الميثان
155	إنترفيريون
108	إنزيمات أمغيبية
108	إنزيمات تكوينيه
153	انتشار العدوى
143, 142, 113, 107, 106, 103, 102, 101, 100	انتقال الالكترونات
50, 42, 41	انتقال الكائنات الحية الدقيقة
80, 79, 66	انقسام ثنائي بسيط
139, 134	انقسام ميوزي (اختزالي)
76, 75	أنوية دقيقة
76, 75	أنوية كبيرة
129, 128	أوبرون
76, 75, 50	أهداب
140, 139, 138	أيوزومات
121, 27, 26	بروتوبلاست
125, 77, 74, 68, 49, 28	بروتوزوا
76, 75	بروتوزوا سوطية
141	بروتوزوا فورامينيفيرا
76, 75	بروتوزوا هدية
177, 175	بروتين ميكروني
137, 125, 124	بروفاج (فاج أولى)
19	بسترة
125, 117	بكتريوفاج ، نكاثره
143, 72, 51, 46	بلاستيدات خضراء
78	بلازموديوم كاذب

صفحة

138	بلازميدات
178, 105	بكتريا الهيدروجين
67	بكتريا بدليلوفيري
63	بكتريا ضمية الشكل
63	بكتريا عصوية الشكل
63	بكتريا كروية الشكل
66	بكتريا معنقة
56, 55, 53	بكتريوفاج ، أشكاله
118, 117	بكتريوفاج ، تقدير اعداده
181, 162, 161, 132, 131	بنسلين
40	بيريللازم
66, 44	تبرعم
175, 173, 149, 113, 23	تثبيت النتروجين الجوى
110	تنشيط رجعى
88	التجميد والتجفيف تحت تفريغ لحفظ المزارع الميكروبية (التجفيد)
163	التحكم الميكروبيولوجى
84	تحلل ذاتى
153	تحلل كرات الدم الحمراء
137, 136, 135	تحول وراثى
97, 73, 49, 45, 38	تخزين المركبات والحبيبات
180, 170, 167, 104, 103, 84, 71	تخممر
176, 104	تخممر حمض اللاكتيك
179, 104	تخممر كحولى
113, 112	تخليق البروتينات
113, 112	تخليق الحمض النووى
110, 108	تخليق حيوى (تكوين حيوى)

صفحة

97	التركيب الكيميائي للكائنات الحية الدقيقة
139, 138, 137, 136, 135	تزاوج وراثي
62, 61, 60, 52	التسمية العلمية للكائنات الحية
152, 151	تطعيم
116	تطور غذائي
140, 139	تعاقب الأجيال
127, 20	تعدد أشكال الميكروب الواحد
19, 15, 11	تقويم
18	تقليم مقطع بالخيار
158, 157	تفاعل الأجسام المضادة والأجسام المولدة
116, 113	تغذية الكائنات الحية الدقيقة
158, 156, 155, 123, 76, 74, 46, 45	تغذية باهتلاص الأجسام الصلبة
133, 123, 46, 45	تغذية بامتصاص المواد الغذائية الذاتية (ارتشاف)
130, 68	تفريق الخلايا وتمييزها
81, 80, 79	تقدير أعداد الكائنات الحية الدقيقة
116, 115	التقدير الحيوي للعناصر الغذائية بواسطة الميكروبات
60, 59	التقسيم العددي للكائنات الحية باستخدام الحاسب الآلي
140, 139	تكاثر لاجنسي
140, 139	تكاثر جنسي
158	تلازن الكائنات الحية الباقية
167, 166, 142, 141, 107, 106, 72	تمثيل ضوئي
181	تمثيل غذائي ثانوي
110, 108	تمثيل غذائي وسطي
167, 142, 102	تنفس ، لاهوائي
101	تنفس ، هوائي
152	توكسينات

صفحة

جدار الخلية	162, 158, 112, 74, 73, 67, 45, 40, 39, 38, 30, 27, 26
جراثيم ، والتجريم	130, 78, 68, 65, 43
الجنس ، تعريفه	61
جهاز جولجي	47, 44
جينات تركيبية	157, 128
جين محفز	129, 128
جين عامل (مشغل)	129, 128
جين منظم	129, 128
حالة ليسوجيني	138, 125, 124
حيبيات دهنية	38, 25
حيبيات فوليوتين مخزنة	38
حيبيات نشا	38, 25
الحث والأنزيمات المستحثة	109
الحرارة ، تأثيرها على النمو	89, 88
حركة أميبية	76, 50
حركة ملتوية	42
حركة ، ميكروية	76, 74, 66, 65
حفظ المزارع الميكروية بالتجفيد	88
حوصلات	68, 65, 43
حيوانات معقمة خالية من الميكروبات	147
خلايا البلازما	157
خلايا بدائية النواة ، أنواعها	68, 63, 62
خلايا بدائية النواة ، مميزاتها	51, 44, 28
خلايا مذكرة ذات كفاءة تزاوجية عالية	137
خلايا عديدة الأنوية	72, 69
خلايا حقيقية النواة ، تعريفها وأنواعها	68, 51, 44, 28

صفحة

179 , 177 , 125 , 104 , 102 , 84 , 71 , 44	خمائر
90	درجة الحموضة ، تأثيرها على التخمير
153 , 151 , 135	درجة شراسة الميكروب لأحداث المرض
175 , 173 , 165 , 103	دورات العناصر
170 , 166	دورة الكربون
175 , 173	دورة النتروجين
110 , 109	دورة كالفين
141 , 74 , 73	دياتومات
122 , 121 , 113 , 49 , 48 , 47 , 33 , 30	ديوزومات
67	ريكستيا
158 , 136 , 42 , 30	زوائد
82 , 81	زمن الجيل
102	سيتوكروم
162 , 122 , 112 , 98 , 97 , 67 , 51 , 43 , 39	سكريات بيتيدية
162 , 159	سمية انتقائية
47 , 44	الشبكة الاندوبلازمية
39 , 38	صبغة جرام
180 , 175	صناعة التخميرات
92	ضغط اسموزي ، تأثيره على التخمير
92	ضغط هيدروستاتيكي ، تأثيراته
173 , 151 , 150 , 125 , 74 , 72 , 68 , 49 , 28	طحالب
	(انظر الطحالب الخضراء المزرقة أيضا)
173 , 150 , 143 , 142 , 125 , 63 , 62 , 28	طحالب خضراء مزرقة
22 , 20 , 11	طرق المزارع النقية
21	طريقة التخطيط لعزل الميكروبات
21	طريقة الأطباق المصبوبة

صفحة

طفرة	130
طور الثبوت في مزارع الدفغات	84, 83
طور النمو الأسى في مزارع الدفغات	83, 81
طور النمو التحضمرى في مزارع الدفغات	83, 81
طور الموت (المبوط) في مزارع الدفعة الواحدة	84
عامل الجنس	137
عدد الخلايا الميكروية الحية	84, 80
عديد هيدروكسى بيوتيرات	38
العلاج بالمواد الكيميائية	162, 159, 133
علاقة التطفل	151, 145, 67
علاقة تبادل المنفعة	150, 145
علاقة عدم التأثير المتبادل	147, 145
عوامل النمو	115, 114
غشاء بلازى	56, 55, 45
غشاء سيتوبلازمى	113, 96, 45, 32, 31, 29, 27, 26
فاجات فتاكة	138, 125, 124
فاجات معتدلة	124
فجوات	173, 92, 75, 51, 44
فسفرة ضوئية	143, 107, 106
فسفرة غير هوائية (على مستوى مادة التفاعل)	143, 102, 100
فسفرة غير هوائية (على مستوى مادة التفاعل جليكولية)	143, 108, 103, 102
فسفرة تأكسدية (هوائية)	143, 106, 105, 102, 101, 51, 30
فطر	181, 180, 177, 152, 151, 150, 127, 125, 77, 71, 69, 65, 49, 44, 28
فطريات هلامية	78, 77
فيروس الميكسوماتوزس	163
فيروسات ، تركيبها	75, 50

صفحة

125, 117	فيروسات ، تكاثرها ..
121, 120, 119	فيروسات ، دخولها ..
162	فيروسات ، العلاج الكيميائي
122, 121	فيروسات ، نضجها ..
155, 151	القدرة على إحداث المرض
76, 75	قدم كاذب
148, 146	القناة الهضمية للتدبيات وميكروباتها
129, 128	كابت معاون
158, 135, 132, 131, 112, 40	كابسولة
53, 54, 53	كابسوميرات
122, 120	كابسيد
142, 141	كائنات حية دقيقة حفرية
177, 176, 167, 107, 106	كائنات حية دقيقة ذاتية التغذية الضوئية
89	كائنات حية دقيقة محبة للبرودة
89, 22	كائنات حية دقيقة محبة للحرارة العالية
89	كائنات حية دقيقة وسطية الحرارة
100	كائنات حية ذاتية التغذية اختياراً
177, 169, 168, 143, 109, 108, 105, 100	كائنات حية غير ذاتية التغذية ، خصائصها ..
169, 168, 109, 105, 99	كائنات ذاتية التغذية ، خصائصها
177, 167, 106, 105	كائنات ذاتية التغذية الكيميائية
128, 108	الكبت والانزيمات المكبوتة
148, 147	كرش الحيوانات المجتررة
123, 56, 51, 48, 32, 31	كروموزومات
107, 106, 72	كلوروفيل
70, 44	كونيديات
73	كينيتوزوم

صفحة

86, 85	كيموستات
70	كيس جرثومي
91	لاهوائى — تعريفه
155, 122, 56, 27, 26	ليزوزيم
87	الماء ، تأثيره على النمو
156	المجاميع الكيميائية المولدة للأجسام المضادة
125	مرض السرطان والفيروسات
160	مركبات السلفوناميد
51, 48	مركبات المستون
22	مزارع الإكثار
85, 81	مزارع الدفعات (مزارع غير مستمرة)
180, 147, 146, 85, 84	مزارع مستمرة
181, 162, 161, 147	مضادات حيوية
159	مطهرات كيميائية
172, 171	معالجة مياه المجارى
178, 175, 166	معدنة
158, 154	مقاومة العلوى
162, 138, 130	المقاومة فى الكائنات الحية الدقيقة
162, 159, 131, 130	مواد مانعة لنمو الميكروبات
159	مواد مطهرة
119, 118	منحنى نمو الفيروس ذو الخطوة الواحدة
84, 83, 82, 81	منحنى النمو فى مزارع الدفعات
143, 51, 46, 45, 44	ميتو كنلريا
31	ميزوزوم
71, 70, 69, 44	ميسيليوم
71	ميسيليوم كاذب

صفحة

67, 28	ميكوبلازم
149, 148	ميكروبات الريزوسفير
130	ميكروبات تكيميلية الاغتذاء (عوز غذائي)
91	ميكروبات لا هوائية اختيارا
92	ميكروبات محبة للضغوط الاسموزية العالية
92	ميكروبات محبة للضغوط المرتفعة
92	ميكروبات محبة للملوحة العالية
177	ميكروبات مستخدمة للهيدروكربونات
176	ميكروبيولوجيا الالبان
175, 169, 149, 148	ميكروبيولوجيا التربة
77, 68	ميكسوبكتريا
148	ميكوريزا (فطريات جذرية)
14, 13, 12, 11	ميكروسكوب ، تطوره
149, 148	النباتات والكائنات الحية الدقيقة
143, 142, 141, 140, 132, 131, 116	نشوء الكائنات الحية الدقيقة وتطورها
16, 15	نظرية التوالد الذاتي
113, 40, 30	نفاذية اختيارية
77, 75, 73, 65, 51, 48, 44, 32	النواة
61	نوع ، تعريفه
87, 86, 79	نمو متزامن
48, 44	نوية
91	هوائي ، تعريفه
150, 71, 70, 69	هيفات



